

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 3 月 18 日 (18.03.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/022959 A1

(51) 国際特許分類: F02D 45/00, 41/00
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011452
(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 8 日 (08.09.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2002-263173 2002 年 9 月 9 日 (09.09.2002) JP
特願2002-263182 2002 年 9 月 9 日 (09.09.2002) JP
特願 2002-378018
2002 年 12 月 26 日 (26.12.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): トヨタ
自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI

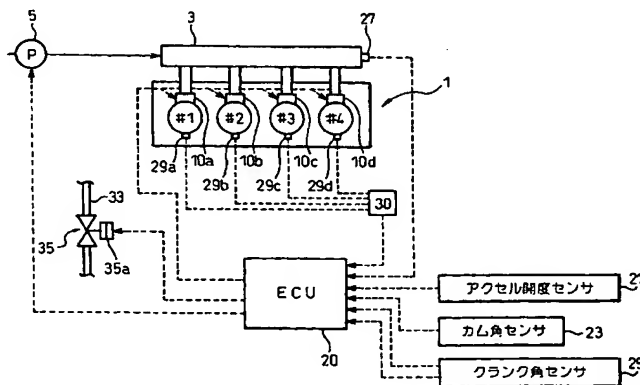
KAISHA) [JP/JP]; 〒471-8571 愛知県 豊田市 ト
ヨタ町 1 番地 Aichi (JP). 株式会社豊田中央研
究所 (KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO
KENKYUSHO) [JP/JP]; 〒480-1192 愛知県 愛知郡長
久手町 大字長湫字横道 4 1 番地の 1 Aichi (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 小林 暢樹
(KOBAYASHI, Nobuki) [JP/JP]; 〒471-8571 愛知県 豊
田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi
(JP). 佐々木 静夫 (SASAKI, Shizuo) [JP/JP]; 〒471-8571
愛知県 豊田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式
社内 Aichi (JP). 青山 太郎 (AOYAMA, Taro) [JP/JP]; 〒
471-8571 愛知県 豊田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車
株式会社内 Aichi (JP). 吉崎 康二 (YOSHIZAKI, Kouji)

[続葉有]

(54) Title: CONTROL DEVICE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) 発明の名称: 内燃機関の制御装置



21...ACCELERATOR OPENING SENSOR
23...CAM ANGLE SENSOR
25...CRANK ANGLE SENSOR

(57) Abstract: In-cylinder pressure sensors (29a-29d) for detecting pressure in combustion chambers are provided in each of the cylinders of a diesel engine (1). An electronic control unit (ECU)(20) of the engine selects the most adequate combustion parameter in accordance with fuel injection modes of fuel injection valves (10a-10d) of the engine and with an amount of EGR gas supplied from an EGR valve (35). The selection is made out of plural kinds of parameter representing combustion condition of the engine calculated based on an output of the in-cylinder pressure sensors. Feedback control of a fuel injection amount and fuel injection timing is made so that the value of the most adequate combustion parameter corresponds to a target value determined in accordance with an engine operation condition. This enables that engine operation condition is most adequately controlled independent of a fuel injection mode and a combustion mode.

(57) 要約: ディーゼル機関 1 の各気筒に燃焼室内圧力を検出する筒内圧センサ 29a ~ 29d を設ける。機関の電子制御ユニット (ECU) 20 は、筒内圧センサ出力に基づいて算出される機関の燃焼状態を表す複数種類の燃焼パラメータの中から、機関の燃料噴射弁 10a ~ 10d の燃料噴射モードと EGR 弁 35 から供給される EGR ガス量により定まる燃焼モードとに応じて最適な燃焼パラメータを選択し、この

[続葉有]

WO 2004/022959 A1



[JP/JP]; 〒471-8571 愛知県 豊田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 村田 宏樹 (MURATA,Hiroki) [JP/JP]; 〒471-8571 愛知県 豊田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 橋本 佳宜 (HASHIMOTO,Yoshiki) [JP/JP]; 〒471-8571 愛知県 豊田市 トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 稲垣 和久 (INAGAKI,Kazuhisa) [JP/JP]; 〒480-1192 愛知県 愛知郡長久手町 大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 中北 清己 (NAKAKITA,Kiyomi) [JP/JP]; 〒480-1192 愛知県 愛知郡長久手町 大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 仲原 彰治 (NAKAHARA,Shoji) [JP/JP]; 〒480-1192 愛知県 愛知郡長久手町 大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 堀田 義博 (HOTTA,Yoshihiro) [JP/JP]; 〒480-1192 愛知県 愛知郡長久手町 大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).

- (74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI,Atsushi et al.); 〒105-8423 東京都 港区虎ノ門 三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

燃焼パラメータの値が機関運転状態に応じて定められる目標値に一致するように燃料噴射量と燃料噴射時期とをフィードバック制御する。これにより、機関燃焼状態が燃料噴射モードや燃焼モードにかかわらず常に最適な状態に制御されるようになる。

明 細 書

内燃機関の制御装置

技術分野

本発明は、内燃機関の制御装置に関し、詳細にはディーゼル機関の燃焼を最適化する制御装置に関する。

背景技術

近年の排気ガス規制の強化や騒音低減に対する要求から、ディーゼル機関においても燃焼室内での燃焼最適化の要求が高まってきている。燃焼最適化のためにはディーゼル機関においても燃料噴射量、燃料噴射時期、噴射期間などを正確に制御することが必要となる。

しかし、ディーゼル機関では、一般に吸入空気量の調整は行わず機関負荷は燃料噴射量により制御している。従って、ディーゼル機関では理論空燃比よりかなり高いリーン空燃比領域で燃焼が行われ、しかも負荷に応じて空燃比が変化する。このため、従来ディーゼル機関では、ガソリン機関のように、空燃比を厳密に制御することは行われておらず、従来、燃料噴射量、燃料噴射時期などの燃料噴射パラメータもガソリン機関ほどには精密な制御は行われていない。又、従来、ディーゼル機関では機関運転条件（回転数、アクセル開度など）から燃料噴射量、噴射時期、噴射圧などの燃料噴射特性値の目標値を決定し、この目標値に応じて燃料噴射弁をオープンループ制御しているが、オープンループ制御では、実際の燃料噴射量が目標噴射量に対して誤差を生じることを防止できず、燃焼状態を目標とする状態に正確に制御することは困難であった。

更に、排気ガス性状の改善と騒音の低減のためには、各気筒の 1 サイクル中に、主燃料噴射の前後に複数回の燃料噴射を行い、燃焼状態を最適に調整するマルチ燃料噴射が有効である。しかし、マルチ燃料噴射を行うためには、複数回の燃料噴射のそれぞれの燃料噴射量と噴射時期とを精密に制御する必要がある。

また、燃焼状態改善のために最近ディーゼル機関において採用されるようになったコモンレール式高圧燃料噴射装置では、燃料噴射時間が短く、しかも噴射中に燃料噴射圧が変化する等のため、燃料噴射量に誤差を生じやすい問題がある。このため、コモンレール式高圧燃料噴射装置では燃料噴射弁の公差を小さく設定して燃料噴射精度を向上させる等の対策が取られているが、実際には燃料噴射弁は各部の摩耗などにより使用期間とともに燃料噴射特性が変化するため、オープンループ制御を行っていたのでは燃料噴射特性値を常に正確に目標値に一致させることは困難である。

このように、ディーゼル機関では燃料噴射量などに誤差が生じやすいため最適な燃焼状態を得る目標値を設定できても、実際にその燃料噴射量を目標値に合致させることが困難な事情がある。

一方、機関の燃焼温度を低下させて NO_x 等の有害排出物を低減するために、機関排気ガスの一部を機関燃焼室にEGRガスとして還流させる技術が知られている。また、通常リーン空燃比運転を行うディーゼル機関においても比較的多量のEGRガスを燃焼室に供給することにより、排気ガス中の有害排出物を低減することが可能である。

ところが、EGRガスは燃焼に与える影響が大きく、特にディーゼル機関ではEGRガス量は燃料噴射開始後、噴射された燃料が燃焼を開始するまでの着火遅れ時間に大きな影響を与える。このため、過剰にEGRガスを燃焼室に供給すると機関の燃焼状態が悪化し

て機関性能の低下や排気ガス性状の悪化を生じる。

一方、EGRガス量が少ないと有害排出物抑制効果が低下する。このため、EGRガス量は機関の運転状態に応じて適切な量に制御する必要がある。

ところが、従来EGRガス量の精密な制御は行われておらず、特にディーゼル機関では、EGRガス流量を制御するEGR弁の開度は、機関回転数とアクセル開度（アクセルペダルの踏み込み量）とから定まる値にオープンループ制御するのが通常であった。

しかし、近年排気ガス規制の強化や騒音低減に対する要求から、EGRガス流量についても最適な値に精密に制御する必要性が生じている。このように精密なEGR制御を行う場合には、従来のように機関回転数とアクセル開度とに基づくオープンループ制御では十分な精度を得ることはできない。また、例えばガソリンエンジンでは、機関排気通路に空燃比センサを配置し、空燃比センサで検出した排気空燃比にもとづいてEGRガス量を制御することも可能であるが、ディーゼル機関等のように排気空燃比が極めてリーンになる状態で運転される場合がある機関では空燃比センサでの検出精度が低くなるため、空燃比センサで検出した排気空燃比に基づいてEGRガス量を制御すると誤差が大きくなる問題がある。

EGRガス量の制御においても、実際の燃焼状態を何らかの形で検出し、実際の燃焼状態が目標とする燃焼状態に合致するようにEGRガス量をフィードバック制御することが有効である。

すなわち、従来燃料噴射量、燃料噴射時期、EGRガス量などについては機関回転数とアクセル開度とに基づくオープンループ制御が行われていたのに対して、排気ガスの性状改善や騒音低減のためには、燃料噴射量、燃料噴射時期、EGRガス量などを実際の燃焼状態に基づいて正確にフィードバック制御することが必要となる。

このように、実際の機関燃焼状態に基づいて、燃料噴射やEGRを制御するものとしては、例えば特開2000-54889号公報に記載されたものがある。

特開2000-54889号公報の装置は、ディーゼル機関に関するものではなく、ガソリンエンジンに関するものであるが、機関の燃焼状態を表す燃焼パラメータとして燃焼室内の熱発生率を用い、熱発生率が所定のパターンになるようにEGRガス流量と燃料噴射時期、燃料噴射量、点火時期などを制御するものである。

すなわち、特開2000-54889号公報の装置は、機関燃焼室内圧力を検出する筒内圧力センサを気筒に配置し、検出した実際の燃焼室内圧力（燃焼圧）とクランク角とに基づいて各クランク角における熱発生率を算出し、熱発生率のクランク角に対する変化パターンが運転条件に応じて予め定めた理想的な変化パターンに一致するように、EGRガス量、点火時期、燃料噴射時期などをフィードバック制御することにより、最適な燃焼を得るようにしたものである。

上記特開2000-54889号公報の装置では、燃焼に関するパラメータとして熱発生率に着目し、実際の運転状態における熱発生率パターンを算出して、この熱発生率が所定のパターンになるように点火時期、燃料噴射量などをフィードバック制御している。特開2000-54889号公報の装置はガソリン機関に関するものであるが、例えばディーゼル機関においても同様に筒内圧センサを設けることにより、筒内圧センサの出力に基づいて熱発生率のパターンを算出し、この熱発生率のピーク位置やパターンが所定のピーク位置と熱発生率パターンになるように燃料噴射時期、燃料噴射量をフィードバック制御することも考えられる。

ところが、特開2000-54889号公報の装置では機関の燃

焼状態を表すパラメータとして、燃焼室における熱発生率のみを使用して燃焼状態のフィードバック制御を行っている。特開 2000-54889 号公報の装置では、ガソリン機関が使用されており、ガソリン機関では予混合気の火花点火が行われ、点火、燃焼などの燃焼パターンも大きくは変化しない。このため、燃焼状態を表すパラメータとして熱発生率のピーク位置やパターンのみを用いても大きな誤差は生じない。

しかし、ディーゼル機関では、例えば、主燃料噴射のみでなく、主燃料噴射に先立って行われるパイロット噴射や、主燃料噴射の後に行われるアフター噴射等を含むマルチ燃料噴射が行われる場合もあり、噴射形態（噴射モード）のみをとっても大きく異なる場合がある。更に、ディーゼル機関では EGR ガス量により燃焼パターン（燃焼モード）が変化する。

このため、燃焼室内の圧力変化も噴射モードや燃焼モードにより大きく異なってくるため、熱発生率のピーク位置やパターンのみで燃焼状態のフィードバック制御を行うことは必ずしも適切ではない。

例えば、ディーゼル機関の筒内燃料噴射弁では噴射量や噴射時期などの燃料噴射特性が使用期間とともに徐々に変化する、燃料噴射特性のずれが生じるが、このような燃料噴射特性のずれは上記の熱発生率ピーク位置やパターンに基づいて正確に修正することは困難である。

また、パイロット噴射や主燃料噴射、或いはアフター噴射などのマルチ燃料噴射を行う場合には、燃焼状態を最適にするためには、それぞれの噴射の燃料噴射量と噴射時期とを最適に制御する必要があるが、熱発生率ピーク位置やパターンのみに基づいて、複数の燃料噴射の燃料噴射特性をフィードバック制御することは困難である。

。一方、熱発生率以外のパラメータを用いて燃焼状態を検出し、燃焼状態に応じてマルチ燃料噴射の燃料噴射特性をフィードバック制御する内燃機関の燃焼制御装置の例としては特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報に記載されたものがある。

特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報の装置は、ディーゼル機関の燃焼騒音を計測し、計測した燃焼騒音に基づいてパイロット噴射量が多すぎるのか少なすぎるのかを判断し、これに基づいてパイロット噴射量を補正するものである。また、燃焼騒音としては、燃焼室内圧力を検出する筒内圧センサで検出した筒内圧の微分値または 2 階微分値を用いることによりメカニカルな振動の影響を除いて燃焼騒音の検出精度を向上させるようにしている。

すなわち、特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報の装置は実際に計測した燃焼騒音に基づいてパイロット噴射量をフィードバック制御することにより、燃焼騒音を常に目標レベル以下に抑制するものである。

上述のように、特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報の装置では、実際に計測した燃焼騒音に基づいてパイロット噴射量をフィードバック制御するため、燃焼騒音を常に目標レベル以下に抑制することができる。しかし、上記特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報の装置では、燃焼騒音は目標値以下に抑制されるものの、必ずしも常に良好な燃焼状態が得られるとは限らず、逆に排気性状が悪化する場合も生じる。

すなわち、良好な排気性状を得るためには、パイロット噴射の噴射量のみではなく噴射時期をも適切に制御する必要があるが、特開 2 0 0 1 - 1 2 3 8 7 1 号公報の装置では、燃焼騒音に基づいてパイロット噴射の噴射量のみを制御しており、噴射時期については実

際の燃焼状態に基づく制御は行っていない。このため、特開 2001-123871 号公報の装置では、仮に燃焼騒音は低下したとしても、排気性状が常に向上するとは限らない問題がある。

更に、特開 2001-123871 号公報の装置は、パイロット噴射、それもパイロット噴射を 1 回だけ行う運転のみを対象としているため、複数回のパイロット噴射や、主燃料噴射の後にアフター噴射を行う場合があるマルチ燃料噴射については、各燃料噴射の噴射量や噴射時期を適切に制御することができない問題がある。

発明の開示

本発明は上記問題に鑑み、ディーゼル機関においても噴射モードや燃焼モードに応じて最適な燃焼パラメータを使用して燃料噴射量、噴射時期、EGR ガス量のフィードバック制御を行うことにより、ディーゼル機関の燃焼状態を最適に制御することが可能な内燃機関の制御装置を提供することを目的としている。

上記目的を達成するために、本発明によれば機関燃焼室に燃料を噴射する燃料噴射弁と、機関排気の一部を EGR ガスとして機関燃焼室に還流させる EGR 装置と、機関燃焼室内の圧力を検出する筒内圧センサとを備えた内燃機関の制御装置であって、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力と機関クランク角とを用いて予め定めた関係に基づいて、筒内発熱量と、燃焼開始時期と、燃焼期間との少なくとも一つを含む機関燃焼状態を表す燃焼パラメータを算出する燃焼パラメータ算出手段と、算出された燃焼パラメータが機関運転状態に応じて予め定められた目標値になるように、燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR ガス量のいずれか 1 つ以上を補正する補正手段と、を備え、前記燃焼パラメータとして、燃焼室内圧力と機関クランク角とに基づいて算出される、前記機関燃焼状態を表す複数種

類の燃焼パラメータの中から、機関の燃料噴射モードもしくは燃焼モードに応じて選択した燃焼パラメータを用いて前記前記補正手段による補正を行う、内燃機関の制御装置が提供される。

すなわち、本発明では、筒内圧センサで検出した実際の燃焼室内圧力とクランク角とに基づいて機関の燃焼状態を表す燃焼パラメータが算出されるが、この燃焼パラメータとしては例えば熱発生率のみを用いて全ての場合を制御するのではなく、燃焼室内圧力とクランク角とに基づいて算出される複数種類の燃焼パラメータの中から燃料噴射の回数等の燃料噴射モードやEGR量等により定まる燃焼モードに応じて最適な燃焼パラメータ、すなわちその燃料噴射モードや燃焼モードにおいて最も誤差が少ないパラメータが選択され、フィードバック制御に使用される。このように、複数種類の燃焼パラメータの中から燃料噴射モードや燃焼モードに応じて最も誤差が小さくなる燃焼パラメータを選択してフィードバック制御を行うことにより、ディーゼル機関の燃焼を最適に制御することが可能となる。

なお、本明細書では、燃焼室内圧力に基づいて算出される、燃焼室内の燃焼状態を表すパラメータを燃焼パラメータと称している。

本発明で使用可能な燃焼パラメータとしては、例えば以下のものがある。

燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値 P_{max} (図2参照) と燃焼室内圧力が最大になるクランク角。

燃焼室内圧力のクランク角に対する変化率の最大値 ($dP/d\theta$) $_{max}$ (図4参照) が生じるときのクランク角。

燃焼室内圧力の2階微分値の最大値 ($d^2P/d\theta^2$) $_{max}$ が生じるときのクランク角。

燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値 PV_{max} と PV

$m a x$ が生じるクランク角。

燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値 $P V m a x$ と、 $P V m a x$ が生じるクランク角 ($\theta_{p v m a x}$) において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積 $P V m a x b a s e$ との差 $\Delta P V m a x (= P V m a x - P V m a x b a s e)$ (図7参照)。

筒内熱発生率の最大値 ($d Q / d \theta$) $m a x$ が生じるクランク角

。

筒内総発熱量 $\Sigma d Q$ 。

燃焼開始後の筒内圧の最大値 $P m a x$ と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の筒内最小圧力 $P m i n$ (図8参照) との差、 $P m a x - P m i n$ 。

燃焼開始後の筒内圧の最大値 $P m a x$ と、前記筒内圧が最大になるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力 $P m a x b a s e$ (図9参照) との差、 $P m a x - P m a x b a s e$ 。

これらの燃焼パラメータの中から噴射モード、燃焼モードに応じて適切なパラメータを用いて燃料噴射量、噴射時期、EGRガス量などを制御することにより、機関の燃焼状態が最適に制御される。

また、特にEGRの制御には、燃焼パラメータとして、燃料噴射開始時から前述の燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値 $P V m a x$ が生じるクランク角までの時間 Δt を用いると精度の良いEGR制御が可能となる。

同様に、EGRの制御には、燃料噴射開始後、燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V と、燃焼ガスの比熱比 κ とから算出される $P V^{\kappa}$ の値に基づいて算出される $P V^{\kappa}$ の値が最小値 $P V^{\kappa} m i n$ をとるまでの時間 $\Delta t d$ 、または、燃料噴射弁から

の燃料噴射開始後、 $P V^*$ の値が最小値 $P V^*_{min}$ をとってから最大値 $P V^*_{max}$ をとるまでの時間 Δt_c を燃焼パラメータとして用いても精度の良い EGR 制御が可能である。

更に、マルチ燃料噴射が行われる場合には、燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V と、予め定めた定数 γ とを用いて、 V の γ 乗と P との積として表されるパラメータ $P V^\gamma$ のクランク角 θ に対する変化率 $d(P V^\gamma) / d\theta$ を用いて算出される燃焼室内での燃焼開始時期と終了時期とを含む燃焼期間を燃焼パラメータとして用い、これらの燃焼パラメータが目標値に一致するように各燃料噴射の噴射時期と噴射量（燃料噴射圧力）とを補正するようにしても良い。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の燃料噴射装置を自動車用ディーゼル機関に適用した場合の実施形態の概略構成を示す図、図 2 は燃焼パラメータ P_{max} を説明する図、図 3 は燃焼パラメータ $(dP / d\theta)_{max}$ の噴射モードに応じた使い分けを説明する図、図 4 は燃焼パラメータ $(dP / d\theta)_{max}$ を説明する図、図 5 は燃焼パラメータ $(d^2P / d\theta^2)_{max}$ の噴射モードに応じた使い分けを説明する図、図 6 は燃焼パラメータ $(dQ / d\theta)_{max}$ の噴射モードに応じた使い分けを説明する図、図 7 は燃焼パラメータ $(\Delta P V_{max})$ を説明する図、図 8 は燃焼パラメータ $(P_{max} - P_{min})$ を説明する図、図 9 は燃焼パラメータ $(P_{max} - P_{max\ base})$ を説明する図、図 10 は燃焼パラメータ $(P V_{main} - P V_{main\ base})$ を説明する図、図 11 は燃焼パラメータ $(P_{mt\ dc} - P_{min})$ を説明する図、図 12 は本発明の燃料噴射補正操作の一実施形態を説明するフローチャート、図 13 は筒内圧センサの

校正原理を説明する図、図 14 は燃焼パラメータ ($\Delta P V_{max} - \Delta P V_{after}$) を説明する図、図 15 は燃焼パラメータ ($P_{main} - P_{mainbase}$) を説明する図、図 16 は燃焼モード切り換え時の燃料噴射制御操作を説明するフローチャートである。

また、図 17 は本実施形態で使用する燃焼パラメータの定義を説明する図、図 18 は本実施形態における、燃料噴射等の基本制御を説明するフローチャート、図 19 は本実施形態における燃焼パラメータを用いた燃料噴射等の制御操作を説明するフローチャート、図 20 は燃焼パラメータを用いた EGR 率制御の別の実施形態を説明するフローチャート、図 21 は通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換え制御を説明するタイミング図、図 22 は低温燃焼モードから通常燃焼モードへの復帰時の切り換え制御を説明するタイミング図である。

更に、図 23 はマルチ燃料噴射を構成する各燃料噴射を説明する図、図 24 (A) は本実施形態における燃焼期間の検出原理を説明する図、図 24 (B) は発熱量の検出原理を説明する図、図 25 は各燃料噴射における燃焼時期と発熱量との算出操作を説明するフローチャート、図 26 は本実施形態の燃料噴射補正操作の手順を説明するフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を用いて本発明の実施形態について説明する。

図 1 は、本発明の燃料噴射装置を自動車用ディーゼル機関に適用した場合の実施形態の概略構成を示す図である。

図 1 において、1 は内燃機関（本実施形態では #1 から #4 の 4 つの気筒を備えた 4 気筒 4 サイクルディーゼル機関が使用される）、10a から 10d は機関 1 の #1 から #4 の各気筒燃焼室に直接

燃料を噴射する燃料噴射弁を示している。燃料噴射弁 10 a から 10 d は、それぞれ燃料通路（高圧燃料配管）を介して共通の蓄圧室（コモンレール）3 に接続されている。コモンレール 3 は、高圧燃料噴射ポンプ 5 から供給される加圧燃料を貯留し、貯留した高圧燃料を高圧燃料配管を介して各燃料噴射弁 10 a から 10 d に分配する機能を有する。

本実施形態では、機関の排気ガスの一部を機関の各気筒燃焼室に還流させる EGR 装置が設けられている。EGR 装置は、機関の排気通路と機関の吸気通路または各気筒の吸気ポートとを接続する EGR 通路 33 と、この EGR 通路に配置され、排気通路から吸気通路へ還流する排気ガス（EGR ガス）流量を制御する流量制御弁としての機能を有する EGR 弁 35 とを備えている。EGR 弁 35 は、ステッパモータ等の適宜な形式のアクチュエータ 35 a を備えており、後述する ECU 20 からの制御信号に応じて EGR 弁開度が制御される。

図 1 に 20 で示すのは、機関の制御を行う電子制御ユニット（ECU）である。ECU 20 は、リードオンリメモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、マイクロプロセッサ（CPU）、入出力ポートを双方向バスで接続した公知の構成のマイクロコンピュータとして構成されている。ECU 20 は、本実施形態では、燃料ポンプ 5 の吐出量を制御してコモンレール 3 圧力を機関運転条件に応じて定まる目標値に制御する燃料圧制御を行っている他、機関運転状態に応じて燃料噴射の噴射時期及び噴射量、EGR ガス量を設定するとともに、後述する筒内圧センサ出力に基づいて算出した燃焼パラメータの値が、機関運転状態に応じて定められる目標値に一致するように燃料噴射量、噴射時期、EGR ガス量等をフィードバック制御する機関の基本制御を行う。

これらの制御を行なうために、本実施形態ではコモンレール 3 にはコモンレール内燃料圧を検出する燃料圧センサ 27 が設けられている他、機関 1 のアクセルペダル（図示せず）近傍にはアクセル開度（運転者のアクセルペダル踏み込み量）を検出するアクセル開度センサ 21 が設けられている。また、図 1 に 23 で示すのは機関 1 のカム軸の回転位相を検出するカム角センサ、25 で示すのはクランク軸の回転位相を検出するクランク角センサである。カム角センサ 23 は、機関 1 のカム軸近傍に配置され、クランク回転角度に換算して 720 度毎に基準パルスを出力する。また、クランク角センサ 25 は、機関 1 のクランク軸近傍に配置され所定クランク回転角毎（例えば 15 度毎）にクランク角パルスを発生する。

ECU 20 は、クランク角センサ 25 から入力するクランク回転角パルス信号の周波数から機関回転数を算出し、アクセル開度センサ 21 から入力するアクセル開度信号と、機関回転数とに基づいて燃料噴射弁 10a から 10d の燃料噴射時期と燃料噴射量、EGR 弁 35 開度（EGR ガス量）とを算出する。

また、図 1 に 29a から 29d で示すのは、各気筒 10a から 10d に配置され、気筒燃焼室内の圧力を検出する公知の形式の筒内圧センサである。筒内圧センサ 29a から 29d で検出された各燃焼室内圧力は、AD コンバータ 30 を経て ECU 20 に供給される。

本実施形態では、コモンレール 3 の燃料圧力は ECU 20 により機関運転状態に応じた圧力に制御され、例えば 10 MPa から 150 MPa 程度の高圧で、しかも広い範囲で変化する。また、ディーゼル機関では一般に主燃料噴射に先だって比較的少量の燃料を 1 回または複数回気筒内に噴射するパイロット噴射が行われる。パイロット噴射で気筒内に噴射された燃料は、主燃料噴射の前に燃焼し、

気筒内の温度圧力を主燃料噴射の燃焼に適した状態まで上昇させるため、パイロット噴射を行うことにより燃焼騒音を低減することができる。

また、本実施形態のように高圧燃料噴射を行うディーゼル機関では、主燃料噴射の後に1回または複数回のアフター噴射やポスト噴射を行う場合がある。アフター噴射は、主燃料噴射の燃料噴射量が多くなり、一度に噴射すると燃焼状態が悪化する場合や、筒内の燃焼圧変化を最適化するために行われ、ポスト噴射は例えば排気温度を上昇させるために行われる。

ディーゼル機関では、従来ガソリン機関ほど空燃比を正確に制御する必要が無いため、燃料噴射量の制御もあまり精度が要求されなかった。しかし、上記のように高圧の燃料噴射で、主燃料噴射以外にパイロット噴射、アフター噴射などのマルチ燃料噴射が要求される。（本明細書では、主燃料噴射以外に行われるパイロット噴射、アフター噴射、ポスト噴射などをマルチ燃料噴射と総称する。）

なお、マルチ燃料噴射については後に詳細に説明する。

このため、ディーゼル機関では燃料噴射を高精度で行うことが必要となる。しかし、従来の燃料噴射制御は、基本的には機関運転条件（回転数、アクセル開度）に基づいて予め定めたマップから燃料噴射量、燃料噴射時期を決定するオープンループ制御であり、実際には燃料噴射圧力の高圧化に伴う燃料噴射時間の短縮化や、コモンレール式燃料噴射における燃料噴射中のコモンレール圧（燃料噴射圧）変動、使用に伴う燃料噴射弁の燃料噴射特性の変化など、燃料噴射量に誤差を生じる要因があり、燃料噴射量、噴射時期などをオープンループ制御で正確に制御することは困難である。

そこで、本実施形態では機関の燃焼状態を表すパラメータを用いて、このパラメータが機関運転状態に応じて設定された最適値（目

標値) になるように燃料噴射量、噴射時期などをフィードバック制御することにより、機関の燃焼状態を最適な状態に維持するようにしている。

本実施形態では燃焼状態を表すパラメータとして、筒内圧センサ 29 a から 29 d で検出した燃焼室内圧力とクランク角とに基づいて算出されるパラメータを使用し、これらの燃焼室内圧力とクランク角とに基づいて算出される燃焼室内の燃焼を表すパラメータを燃焼パラメータと称している。

ところで、燃焼室内圧力に基づいて算出される、燃焼状態を表すパラメータ、すなわち燃焼パラメータも無数に存在し、理論的にはこれらのいずれも燃料噴射量、噴射時期などのフィードバック制御に使用可能である。しかし、実際には機関の燃料噴射モード（主燃料噴射のみ、或いは主燃料噴射とマルチ燃料噴射との組み合わせ）、燃焼モード（EGR量の大小等）によっては、使用する燃焼パラメータによりフィードバック制御の精度が大きく変化する可能性があることが判明している。

そこで、本実施形態では予め、燃焼状態と良好な相関を示す燃焼パラメータを複数種類設定しておき、その中から機関 1 の燃料噴射モード、或いは燃焼モードに応じて最も制御誤差が少なくなるものを選択して使用するようにしている。

燃料噴射モードや燃焼モードにかかわらず同一の燃焼パラメータを使用するのではなく、上記のように燃料噴射モードや燃焼モードに応じて最適な燃焼パラメータを複数種類の燃焼パラメータの中から選択して使用するようにしたことにより、本実施形態では、燃料噴射モードや燃焼モードの相違にかかわらず、常にディーゼル機関の最適な燃焼状態を維持することが可能となる。

以下に本実施形態で使用する燃焼パラメータの代表的な例を示す

。本実施形態では、以下の燃焼パラメータの中から燃料噴射モードや燃焼モードに応じて最適なものを選択して燃焼パラメータとして使用する。

(1) 燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値 P_{max} と、この最大値が生じるクランク角 θ_{pmax} (図2)

(2) 燃焼室内圧力のクランク角に対する変化率の局所的最大値(極大値) $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるときのクランク角

(3) 燃焼室内圧力の2階微分値の局所的最大値(極大値) $(d^2P/d\theta^2)_{max}$ が生じるときのクランク角

(4) 燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値 PV_{max} と、この最大値が生じるときのクランク角 θ_{pvmax}

(5) 上記 PV_{max} と、 PV_{max} が生じるクランク角 θ_{pvmax} において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積 $PV_{maxbase}$ との差 $\Delta PV_{max} (= PV_{max} - PV_{maxbase})$ (図7参照)

(6) 筒内熱発生率の最大値 $(dQ/d\theta)_{max}$ が生じるときのクランク角

(7) 筒内総発熱量 ΣdQ

(8) 燃焼開始後の筒内圧の最大値 P_{max} と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の燃焼室内最小圧力 P_{min} との差、 $P_{max} - P_{min}$

(9) 燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値 P_{max} と、 P_{max} が生じるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力(モータリング圧力) $P_{maxbase}$ との差、 $P_{max} - P_{maxbase}$

(10) 主燃料噴射により噴射された燃料に着火が生じるときの

燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積 $P V_{main}$ と、主燃料噴射により噴射された燃料に着火が生じるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積 $P V_{main base}$ との差 ($P V_{main} - P V_{main base}$) (図10参照)

(11) 上記 $\Delta P V_{max}$ と、アフター噴射により噴射された燃料に着火が生じるときの燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積と、アフター噴射により噴射された燃料に着火が生じるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積との差 $\Delta P V_{after}$ との差 ($\Delta P V_{max} - \Delta P V_{after}$) (図10、図14参照)

(12) 圧縮行程上死点における燃焼室内圧力と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の燃焼室内最小圧力 P_{min} との差 $P_{tdc} - P_{min}$

以下、それぞれの燃焼パラメータについて簡単に説明する。

(1) P_{max} と P_{max} が生じるクランク角 (θ_{pmax})

燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値は、通常、気筒圧縮行程上死点後に現れ、主燃料噴射により噴射された燃料の燃焼により最も筒内圧が上昇した時の筒内圧として表される。

図2は、一般的なディーゼル機関の吸気行程から膨張行程における筒内圧変化を示しており、縦軸は圧力を、横軸はクランク角を示している。

図2において、TDCは、圧縮行程における上死点（以下、単に上死点という）を表している。ディーゼル機関では、燃料は通常上死点直前付近で噴射され、ピストンが上死点通過後燃焼を開始するため、上死点後に筒内圧が大きく上昇する。 P_{max} は、図2に示すように、燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値、 θ_{pmax} は P_{m

a_x が生じたときのクランク角である。

P_{max} 、 θ_{pmax} は、筒内圧センサ29aから29dの出力を監視することにより容易に求められる。

本実施形態では、 P_{max} は主燃料噴射の噴射量補正に、 θ_{pmax} は主燃料噴射の噴射時期補正に使用される。

すなわち、本実施形態では、機関運転状態、すなわち機関回転数とアクセル開度とを変えて機関を運転した場合の最適な燃焼状態における P_{max} と θ_{pmax} の値（目標値）が予め実験により求められており、それぞれ機関回転数とアクセル開度とをパラメータとして用いた二次元マップの形で、ECU20のROMに予め格納されている。

機関運転中ECU20は筒内圧センサ29aから29dの出力にもとづいて各気筒の P_{max} と θ_{pmax} とを求め、そのときの機関回転数とアクセル開度とから上記マップを用いて P_{max} と θ_{pmax} との目標値を読み出す。そして、 P_{max} がその目標値に一致するように主燃料噴射の燃料噴射量を増減補正すると共に、 θ_{pmax} がその目標値に一致するように主燃料噴射の燃料噴射時期を補正する。

これにより、主燃料噴射の噴射量と噴射時期とが最適化され、機関の燃焼が最適な状態に維持される。

(2) $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるときのクランク角

$(dP/d\theta)_{max}$ が生じるときのクランク角を燃焼パラメータとして用いて、 $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるときのクランク角が目標値になるように燃料噴射時期を補正する。

燃焼室内に噴射された燃料が燃焼すると燃焼室内の圧力は上昇する。このため、燃焼室内圧力変化率 $(dP/d\theta)$ の値は、主燃料噴射、マルチ燃料噴射などによる燃料噴射が行われる毎に増大し、

各噴射に対応した数だけ $(dP/d\theta)$ のピークが生じる。このため、各ピークにおける燃焼室内圧力変化率 $(dP/d\theta)$ の最大値（極大値） $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるクランク角を燃焼パラメータとして使用することにより各燃料噴射モードに応じてそれぞれの燃料噴射の噴射時期を補正することができる。

例えば主燃料噴射とマルチ燃料噴射とが行われる場合には、1行程サイクルに対して複数回の燃料噴射が行われる。この場合、燃焼圧そのものについても各燃料噴射により噴射された燃料の燃焼に対応する極大値が生じているはずであるが、燃焼室内の圧力上昇は各噴射によるものが相互に干渉しあっているため、各噴射毎の極大値 (P_{max}) を分離検出することは困難である。

これに対して、圧力変化率 $(dP/d\theta)$ はそれぞれの燃料噴射に対して明瞭なピーク値が現れる。このため、 $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるクランク角を燃焼パラメータとして使用することにより、マルチ燃料噴射が行われる場合も各噴射の噴射時期の正確な補正を行うことができる。

図3、図4は、噴射モードに応じた $(dP/d\theta)_{max}$ の使い分けを説明する図である。例えば、1サイクル中に主燃料噴射とパイロット噴射、アフター噴射とが行われる機関では、それぞれの噴射に対応して圧力変化率のピーク値 $(dP/d\theta)_{max}$ も3つ発生する。図3の $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.2max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3max}$ は、圧縮行程開始後（圧縮行程後期から膨張行程）に発生する圧力変化率のピーク値のうち、最初のもの、2番目のもの、3番目のものを意味している（図4参照）。

図3の第1列は燃料噴射モードを示している。本実施形態では、主燃料噴射にそれぞれ1回ずつのパイロット噴射及び／またはアフ

ター噴射のマルチ燃料噴射が組み合わされるため、考え得る燃料噴射モードの数は、主燃料噴射のみ、パイロット噴射＋主燃料噴射、主燃料噴射＋アフター噴射、パイロット噴射＋主燃料噴射＋アフター噴射、の４種類になる。

例えば、図３に示すように主燃料噴射のみが実施されている場合には、 $(dP/d\theta)_{max}$ の生じるクランク角を用いて主燃料噴射の噴射時期が補正される。

また、噴射モードが、パイロット噴射＋主燃料噴射である場合には $(dP/d\theta)_{max}$ の生じるクランク角を用いてパイロット燃料噴射の噴射時期が、また $(dP/d\theta)_{NO.2max}$ の生じるクランク角を用いて主燃料噴射の噴射時期が、それぞれ補正される。

また、例えば噴射モードがパイロット噴射＋主燃料噴射＋アフター噴射である場合には、それぞれ $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.2max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3max}$ の生じるクランク角を用いて、パイロット燃料噴射、主燃料噴射、アフター噴射の噴射時期が補正される。

(３) 燃焼室内圧力の２階微分値の最大値 $(d^2P/d\theta^2)_{max}$ が生じるクランク角

燃焼室内圧力の２階微分の極大値 $(d^2P/d\theta^2)_{max}$ も、上記した圧力変化率の極大値と同様に各噴射毎に存在する。このため、 $(d^2P/d\theta^2)_{max}$ の生じるクランク角が機関運転状態に応じてあらかじめ定めた最適値になるように各噴射の燃料噴射量と噴射時期とをフィードバック制御することにより、機関燃焼状態を最適な状態に維持することができる。

図５は、噴射モードに応じた $(d^2P/d\theta^2)_{max}$ の使い分けを説明する図３と同様な図である。図５に示すように、 $(d^2P$

$\frac{dP}{d\theta}$ max は、 $(\frac{dP}{d\theta})$ max と全く同様な使い分けをすることができる。また、例えば、特に燃料噴射時期を変化させたときの $(\frac{dP}{d\theta})$ max のクランク角変化が鈍い場合には、 $(\frac{dP}{d\theta})$ max に代えて $(\frac{d^2P}{d\theta^2})$ max を用いて噴射時期補正を行うと効果がある。

(4) 燃焼室内圧力 P と燃焼室内実容積 V との積の最大値 $P V_{max}$ と、この最大値が生じるときのクランク角 θ_{pvmax}

$P V_{max}$ は、後述する筒内発熱量との相関が大きく、特に燃料噴射モードが主燃料噴射のみである場合に精度の良い制御が可能となる。また、燃焼室内実容積 V はクランク角の関数として予め算出、記憶しておくことができるため、筒内発熱量を用いる場合より ECU の計算負荷を軽減することができる。

本実施形態では、主燃料噴射のみが行われる場合に、 $P V_{max}$ の値が機関運転状態に応じて定めた最適値になるように主燃料噴射量を、また $P V_{max}$ が生じるクランク角 θ_{pvmax} が機関運転状態に応じて定めた最適値になるように主燃料噴射時期を、それぞれフィードバック制御する。

(5) 上記 $P V_{max}$ と、 $P V_{max}$ が生じるクランク角 θ_{pvmax} において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積 $P V_{max\ base}$ との差 $\Delta P V_{max} (= P V_{max} - P V_{max\ base})$

図 7 は、 $\Delta P V_{max} = P V_{max} - P V_{max\ base}$ を説明する図 2 と同様な図である。図 7 実線は主燃料噴射のみの場合の $P V$ 値の変化を示している。燃焼室内圧力 P と燃焼室内実容積 V との積 $P V$ は、図 7 に示すように燃焼が生じると圧力の上昇により大きく増大して上死点 TDC 後に最大値 $P V_{max}$ になる。

一方、図 7 点線は、燃焼が生じなかったと仮定した場合の $P V$ 値

の変化、すなわち圧縮のみにより発生する燃焼室内圧力（モータリング圧力）を用いて計算した $P V$ 値（ $P V \text{ base}$ ）を示している。 $P V \text{ max base}$ は、 $P V \text{ max}$ が生じるクランク角における $P V \text{ base}$ の値として算出される。

$\Delta P V \text{ max}$ は、燃料噴射モードが主燃料噴射のみの場合だけでなく、パイロット噴射やアフター噴射があるとき等、全ての燃料噴射モードにおいて合計燃料噴射量（総燃料噴射量）を補正するのに使用することができる。本実施形態においては、各燃料噴射の時期については、 $(dP/d\theta) \text{ max}$ または $(d^2P/d\theta^2) \text{ max}$ が生じるクランク角が目標値に一致するように補正を行う。

（６）筒内熱発生率の最大値 $(dQ/d\theta) \text{ max}$ が生じるときのクランク角

筒内熱発生率は、筒内圧センサ 29 a から 29 d で検出した筒内圧 P と、実筒内容積 V とを用いて、以下の式で表される。

$$dQ/d\theta = (\kappa \cdot P \cdot (dV/d\theta) + V (dP/d\theta)) / (\kappa - 1)$$

ここで、 P 、 V は θ の関数であり κ は混合気の比熱比を表している。

筒内熱発生率 $(dQ/d\theta)$ の値は、主燃料噴射、マルチ燃料噴射などにより噴射された燃料が燃焼する毎に増大し、前述した $(dP/d\theta)$ の場合と同様に各噴射に対応した数だけのピークが生じる。このため、各ピーク $(dQ/d\theta) \text{ max}$ が生じるクランク角を燃焼パラメータとして使用することにより各燃料噴射モードに応じてそれぞれの燃料噴射時期を補正することができる。

ECU 20 は、クランク角センサ 25 で検出したクランク角と、そのクランク角における実容積、及び筒内圧センサ 29 a から 29 d で検出した各気筒の筒内圧を用いて、一定クランク角毎に差分計

算を行い、近似的に各クランク角毎に $(dQ/d\theta)$ の値を求め、算出した $(dQ/d\theta)$ の値の極大値としての $(dQ/d\theta)_{max}$ が生じるクランク角とを求める。

前述したように、 $(dQ/d\theta)_{max}$ は、 $(dP/d\theta)_{max}$ の場合と同様に 1 サイクル当たりの燃料噴射の回数と同じだけ存在する。

図 6 は、燃料噴射モードに応じた $(dQ/d\theta)_{max}$ の使い分けを示す。図 6 に置いて、 $(dQ/d\theta)_{max}$ 、 $(dQ/d\theta)_{NO. 2 max}$ 、 $(dQ/d\theta)_{NO. 3 max}$ は、それぞれ $(dQ/d\theta)$ の 1 回目、2 回目、3 回目の極大値を意味している。図 6 の $(dQ/d\theta)_{max}$ の使い分けは、図 3 の $(dP/d\theta)_{max}$ の場合と全く同様であるのでここでは詳細な説明は省略する。

(7) 筒内総発熱量 ΣdQ

筒内総発熱量 ΣdQ は、は前述の $(dQ/d\theta)$ の値を 1 行程サイクルにわたって積算することにより求められる。 ΣdQ は燃焼室内に供給された総燃料量に相当するため、例えば主燃料噴射だけでなく、パイロット噴射やアフター噴射を含む燃料噴射モードにおいても総燃料噴射量の補正に使用することができる。なお、噴射時期は別途前述の何れかの方法により補正する。

(8) 燃焼開始後の筒内圧の最大値 P_{max} と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の燃焼室内最小圧力 P_{min} との差、 $P_{max} - P_{min}$

図 8 は、 P_{max} と P_{min} とを示す図 2 と同様な図である。この場合、 $P_{max} - P_{min}$ の値が目標値になるように主燃料噴射量をフィードバック制御し、 P_{max} が生じるクランク角 θ_{pmax} が目標値になるように主燃料噴射時期を制御する。 $P_{max} - P_{min}$ は、燃料噴射モードが主燃料噴射のみの場合に適している。

(9) 燃焼開始後の筒内圧の最大値 P_{max} と、 P_{max} が生じるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力（モータリング圧力） $P_{max\ base}$ との差、 $P_{max} - P_{max\ base}$

図9は、 P_{max} と $P_{max\ base}$ とを示す、図2と同様な図である。図9に示すように、 $P_{max\ base}$ は、 P_{max} が生じるクランク角 $\theta_{p\ max}$ における、燃焼が生じなかったと仮定した場合の燃焼室内圧力の変化、すなわち圧縮のみにより発生する燃焼室内圧力（モータリング圧力）である。 $P_{max\ base}$ は計算により求めることもできるが、図9に示すように、モータリング圧力は圧縮上死点に対して左右対称になるため、本実施形態では圧縮上死点 TDC に対して $\theta_{p\ max}$ と対称な圧縮行程クランク角 $\theta_{p\ max'}$ における筒内圧センサで検出した圧力を $P_{max\ base}$ として使用する。

$P_{max} - P_{max\ base}$ は、上述の $P_{max} - P_{min}$ と同様に燃料噴射モードが主燃料噴射のみの場合に、主燃料噴射の燃料噴射量を補正するのに使用するが、図9に示したように燃焼室内圧力変化において上死点後に最小圧力 P_{min} が現れないような場合の燃料噴射量補正に特に適している。また、本実施形態においても、主燃料噴射の噴射時期は P_{max} が生じるクランク角 $\theta_{p\ max}$ が目標値に一致するように補正を行う。

(10) $PV_{main} - PV_{main\ base}$

図10は、燃焼パラメータ $PV_{main} - PV_{main\ base}$ を説明する図である。図10において、横軸はクランク角、縦軸は各クランク角における燃焼室内圧力 P と燃焼室実容積 V との積 PV を表している。

図10は主燃料噴射に加えてパイロット噴射が行われた場合を示

している。

図10に示すように、 PV 値は、パイロット噴射により噴射された燃料に着火が生じたとき（図10、点P）と主燃料噴射により噴射された燃料に着火が生じたとき（同、M点）に、それぞれ急激に上昇する。

図10に示すように PV_{main} は、主燃料噴射の燃料に着火が生じたとき（M点）の PV 値である。また、 $PV_{mainbase}$ は、主燃料噴射の燃料に着火が生じたとき（M点）のクランク角における、圧縮のみで得られる燃焼室内圧力（モータリング圧力） $P_{mainbase}$ と燃焼室実容積 V との積である。

PV_{main} の値は、 PV 値の2階微分値が正になる点として容易に検出することができ、そのときのクランク角からモータリング圧力 $P_{mainbase}$ が求まり、この $P_{mainbase}$ と燃焼室実容積 V とを用いて $PV_{mainbase}$ が算出される。

$PV_{main} - PV_{mainbase}$ は、パイロット噴射が行われている場合のパイロット噴射量の補正に特に適している。

$$(11) \Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$$

図14は $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$ を説明する図10と同様な図である。

図14は、主燃料噴射に加えてパイロット噴射とアフター噴射とが行われた場合を示している。このため、図14では、 PV 値が急激に増大する点が3箇所（図14、P、M、Aの各点）となっている。また、 PV の最大値 PV_{max} が生じるクランク角は、主燃料噴射の燃料の燃焼開始後にアフター噴射が行われる時点となっている。

前述したように、 ΔPV_{max} は、 PV の最大値 PV_{max} と、 PV_{max} が生じるクランク角におけるモータリング時の PV 値 P

$V_{maxbase}$ との差として求められる。

また、 ΔPV_{after} は、アフター噴射による燃料が燃焼を開始したとき、すなわち図14では燃焼開始後3番目に生じるPV値の急増開始点（A点）における筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力とそのときの燃焼室実容積との積 PV_{after} とA点のクランク角におけるモータリング時のPV値である $PV_{afterbase}$ との差として求められる。

すなわち、

$$\Delta PV_{max} = PV_{max} - PV_{maxbase}$$

$$\Delta PV_{after} = PV_{after} - PV_{afterbase}$$

となる。

燃焼パラメータ $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$ は、アフター噴射が行われる場合のアフター噴射量の補正に特に適している。

(12) 圧縮行程上死点における圧縮による燃焼室内圧力 P_{mtdc} と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の燃焼室内最小圧力 P_{min} との差 $P_{mtdc} - P_{min}$

図11は、燃料噴射量を一定に維持しながらEGRガス量を調整して燃焼空燃比を変化させた場合の燃焼室内圧力変化を示す図2と同様な図である。燃料噴射量を一定に維持した場合、空燃比の変化にかかわらず燃焼圧力最大値 P_{max} はほとんど変化しないが、空燃比が低く（EGR率が高く）なるほど混合気の着火時期は圧縮上死点から遠くなり、圧縮上死点における燃焼室内圧力と上死点後燃焼開始までの間の燃焼室内最小圧力 P_{min} との差は空燃比に応じて変化する。

このため、圧縮行程上死点における圧縮による燃焼室内圧力 P_{mtdc} と上死点後の最小圧力 P_{min} との差 $P_{mtdc} - P_{min}$ を燃焼パラメータとして用いて、この値が目標値になるようにEG

R 量（例えばスロットル弁開度）を制御することにより燃焼空燃比を最適に制御することが可能となる。また、この場合には、主燃料噴射量、主燃料噴射時期は P_{max} と P_{max} が生じるクランク角とを用いて制御する。

なお、 P_{mtdc} は圧縮行程上死点における燃焼が生じていない状態での圧力、すなわち筒内での圧縮のみによる圧力である必要がある。このため、パイロット燃料噴射による燃焼などが開始されているような場合に誤差が生じるのを防止するために、 P_{mtdc} として以下の計算式による計算値を用いる。

$$P_{mtdc} = P_{bdc} \cdot (\varepsilon)^\kappa = P_m \cdot (\varepsilon)^\kappa$$

ここで、 P_{bdc} は吸気行程下死点における燃焼室内圧力で、吸気管圧力（過給圧） P_m に略等しい。また、 ε は気筒の圧縮比、 κ は混合気の比熱比であり実験により予め求めておくことが好ましい。

後述するように、 P_{max} と $P_{mtdc} - P_{min}$ との2つの燃焼パラメータを用いた制御は、通常燃焼と低温燃焼との間の燃焼モード切り換え時などの過渡時に特に有効である。

なお、上述した燃焼パラメータ以外にも、以下に示す燃焼パラメータが使用可能であることが判明している。

(a) $P_{max} - P_{mtdc}$

P_{max} 、 P_{mtdc} （図11参照）はそれぞれ上述したが、 $P_{max} - P_{mtdc}$ は、主燃料噴射のみが行われるときの総燃料噴射量（主燃料噴射量）の補正に使用することができる。

(b) P_{Vmain}

P_{Vmain} については、図10で $P_{Vmain} - P_{Vmainbase}$ を燃焼パラメータとして使用する場合について説明したが、 P_{Vmain} は、主燃料噴射の燃料が着火する直前の筒内の熱量

を表しているため、 PV_{main} が運転状態に応じて予め定めた値になるように、パイロット噴射量を補正することにより、パイロット噴射量を適切な値に制御することができる。

(c) $P_{main} - P_{main\ base}$

P_{main} 、 $P_{main\ base}$ は、それぞれ主燃料噴射の燃料が着火するときの燃焼室内圧力及び、この P_{main} が生じるクランク角におけるモータリング圧力である（図15参照）。 $P_{main} - P_{main\ base}$ も $PV_{main} - PV_{main\ base}$ と同様に、パイロット噴射量の補正に適している。

(d) ΣdQ_{main}

ΣdQ_{main} は、は前述した筒内熱発生率（ $dQ/d\theta$ ）の値を圧縮行程開始時から主燃料噴射による燃料が着火するときまで積算した値（積分値）である。 ΣdQ_{main} は主燃料噴射の燃料が燃焼を開始する前に燃焼室内に供給された総熱量に相当するため、例えばパイロット噴射を含む燃料噴射モードでは、パイロット噴射の噴射量に相当する。このため、 ΣdQ_{main} を燃焼パラメータとして使用することによりパイロット噴射量を適切に補正することができる。

(e) $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$

ΣdQ は、前述した筒内総発熱量、 ΣdQ_{after} は、圧縮行程開始からアフター噴射の燃料が着火するときまでの筒内熱発生率（ $dQ/d\theta$ ）の積算値（積分値）である。 ΣdQ_{after} はアフター噴射の燃料が燃焼を開始するまでに燃焼室内に供給された熱量の合計に相当するので、 $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$ は、アフター噴射のみによって燃焼室内に供給される熱量の合計、すなわちアフター噴射の燃料噴射量に相当する。このため、 $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$ を燃焼パラメータとして使用することによりアフター噴射の

噴射量を適切に補正することができる。

次に、図 1 2 のフローチャートを用いて、本実施形態の燃料噴射補正操作について説明する。

図 1 2 の操作は E C U 2 0 により実行される。以下に図 1 2 の各ステップの操作を説明する。

ステップ 1 2 0 1 :

ステップ 1 2 0 1 は制御操作実行条件が成立しているか否かの判断を示す。ステップ 1 2 0 1 では、機関の累計運転時間、或いは車両の累計走行距離に基づいて、ステップ 1 2 0 3 以下の制御操作を実行するか否かを決定する。

例えば、機関が稼働を開始してからの累計運転時間が所定値に到達していない場合（或いは車両の走行距離が所定値に到達していない場合）には、機関各部の初期フリクションが大きいため、噴射量、噴射時期の補正を行うと誤差を生じる可能性がある。従って、図 1 2 の制御操作は機関の累計運転時間が所定時間以上である場合にのみ実行する。

ステップ 1 2 0 3 :

ステップ 1 2 0 3 では、筒内圧センサ 2 9 a から 2 9 d の較正を行う。ここでは、筒内圧センサのゼロ点のずれ（オフセット）とゲインの較正を行う。

図 1 3 は、筒内圧センサの較正を説明する図である。

図 1 3 において、横軸はクランク角、縦軸は筒内圧を示す。また横軸の B D C は吸気行程の下死点を、T D C は圧縮行程の上死点を示す。また、C R は圧縮行程中の燃焼が開始される前の適宜なクランク角である。

図 1 3 の実線は、筒内圧センサの実際の出力の変化、点線は真の筒内圧の変化、をそれぞれ示している。また、P R 1、P C 1 で示

すのは、吸気行程下死点 B D C における、それぞれ筒内圧センサの出力と真の筒内圧、 $P R 2$ 、 $P C 2$ で示すのは、クランク角 $C R$ における筒内圧センサの出力と真の筒内圧である。

ここで、真の筒内圧 $P C 1$ と $P C 2$ とが判れば、筒内圧センサのオフセット $\Delta P R$ は、 $\Delta P R = P C 1 - P R 1$ として、またゲインのずれ K は、 $K = P C 2 / (P R 2 + \Delta P R)$ として求まり、筒内圧センサの出力が $P R$ であるときの真の筒内圧は $P C$ は、

$P C = K \cdot (P R + \Delta P R)$ として求めることができる。

ここで、 $P C 1$ は、吸気行程下死点における筒内圧であり、略吸気圧（過給圧） $P m$ に等しい。従って、オフセット $\Delta P R$ は、 $\Delta P R = P m - P R 1$ となる。

またクランク角 $C R$ における真の筒内圧 $P C 2$ は、 $P C 1 = P m$ を用いて、 $P C 2 = P m \cdot (\epsilon c r)^\kappa$ として算出される。ここで、 $\epsilon c r$ はクランク角 $C R$ における圧縮比、 κ は混合気の比熱比である。すなわち、ゲインずれ K の値は、

$K = P m \cdot (\epsilon c r)^\kappa / (P R 2 + \Delta P R)$ として求められる。

本実施形態では、E C U 2 0 は制御操作を実行する前に、吸気行程下死点とクランク角 $C R$ とにおける各筒内圧センサ出力と、機関過給圧 $P m$ とに基づいて上記のオフセット $\Delta P R$ とゲイン K とを求め、以下の操作では各筒内圧センサ出力 $P R$ を、真の筒内圧 $P C$ ($P C = K \cdot (P R + \Delta P R)$) に換算して使用する。

ステップ 1 2 0 5 :

ステップ 1 2 0 5 では、機関回転数 $N e$ とアクセル開度 $A c c p$ とが、それぞれクランク角センサ 2 5 とアクセル開度センサ 2 1 とから読み込まれる。 $N e$ と $A c c p$ とは、後述する燃焼パラメータの目標値を設定するために用いられる。なお、本実施形態では、主

燃料噴射とマルチ燃料噴射との燃料噴射及び燃料噴射時期は、別途 ECU 20 により行われる図示しない燃料噴射制御操作により N_e と A_{ccp} とに基づいて算出される。

ステップ 1207 :

ステップ 1207 では、現在の機関の燃料噴射モード（主燃料噴射のみ、または主燃料噴射＋マルチ燃料噴射等）に基づいて、最も誤差の少ない燃焼パラメータが選択される。

本実施形態では例えば前述の 11 の燃焼パラメータの中から燃料噴射モードに応じて選択された燃焼パラメータの値が算出される。例えば現在の燃料噴射モードが主燃料噴射のみである場合には P_{max} 、 PV_{max} などが燃焼パラメータとして選択され、例えば現在の燃料噴射モードが、パイロット噴射＋主燃料噴射＋アフター噴射のマルチ燃料噴射である場合には、 $PV_{main} - PV_{main\ base}$ 、 ΔPV_{max} 、 $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$ 等が各燃料噴射量補正用の燃焼パラメータとして、また、 $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dQ/d\theta)_{max}$ 等が各燃料噴射の燃料噴射時期補正用に、それぞれ選択される。

ステップ 1209、ステップ 1211 :

ステップ 1209 とステップ 1211 とでは、まず総燃料噴射量と主燃料噴射の噴射時期とが補正される。すなわち、ステップ 1209 ではまず、ステップ 1207 で選択された燃焼パラメータ（例えば ΔPV_{max} ）の大きさが筒内圧センサ出力に基づいて算出され、この ΔPV_{max} が、機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる ΔPV_{max} の目標値に一致するまで総燃料噴射量が増減補正される。

なお、燃焼パラメータの目標値は、予め実験等により求めてあり、ECU 20 の ROM に N_e と A_{ccp} とを用いた数値マップとし

て格納してある。

また、ステップ 1 2 1 1 では、同様に燃焼パラメータとして選択された状態（例えば $(dP/d\theta)_{max}$ が生じるクランク角が筒内圧センサ出力に基づいて検出され、このクランク角が回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる目標値に一致するまで主燃料噴射の噴射時期が補正される。

ステップ 1 2 1 3 :

ステップ 1 2 1 3 は、マルチ燃料噴射を実行している場合のマルチ燃料噴射の噴射量、噴射時期の補正を示す。本ステップでは例えばパイロット噴射及び／またはアフター噴射の噴射量と噴射時期とが、 $PV_{main} - PV_{main\ base}$ 、 $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$ 、 $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3\ max}$ 等の燃焼パラメータがそれぞれの目標値に一致するまで補正される。

具体的な補正は、主燃料噴射と同様であるためここでは詳細な説明は省略するが、本実施形態ではまず、総燃料噴射量、主燃料噴射の噴射量、噴射時期などを補正してから、次にマルチ燃料噴射（パイロット噴射、アフター噴射）の噴射時期、噴射量を補正するようにしている。これは、マルチ燃料噴射を行っている場合であっても、総燃料噴射量は出力トルクに最も大きい影響を与えるため、まず総燃料噴射量を最適に補正し、その後主燃料噴射の噴射量、噴射時期を最適に補正することにより機関の燃焼状態を理想的な状態に近づけ、その後にマルチ燃料噴射の噴射量、噴射時期を補正することにより燃焼状態の微調整が行うようにしたものである。

上述のように、図 1 2 の補正操作を行うことにより、各燃料噴射の噴射量と噴射時期、噴射量が適切な値に補正され、機関の燃焼状態が最適化される。

次に本発明の別の実施形態について説明する。

本実施形態では、燃焼モードの切り換えの過渡時における燃料噴射制御を行う。本実施形態では、機関 1 は、通常のディーゼル燃焼モード、すなわち圧縮行程終期に燃料噴射を行い、空燃比の高い燃焼を行う燃焼モードと、低温燃焼モード、すなわち、燃料噴射時期を大幅に進角して気筒内に予混合気を形成するとともに、EGR ガス量を大幅に増大して空燃比の低い燃焼を行う燃焼モードとの 2 つの燃焼モードを切り換えて運転する。また、燃焼モードの切り換えの際には、燃焼パラメータを用いて燃料噴射のフィードバック制御とともに、機関吸気通路に設けられたスロットル弁をフィードバック制御して吸入空気量を調節し、空燃比を最適化する。

図 11 で説明したように、燃焼パラメータのうち ($P_{mtdc} - P_{min}$) と空燃比とは良好な相関がある。通常ディーゼル燃焼モードと低温燃焼モードとの切り換え時には、空燃比と燃料噴射時期とが大きく変化する。ここで、空燃比はスロットル弁の開度を増減して EGR ガス量を変化させることにより調整されるが、EGR ガス量の変化は比較的時間がかかるのに対して、燃料噴射時期は短時間で変更可能である。このため、本実施形態では、切り換え時にまず、燃焼パラメータとして P_{max} を用いて燃料噴射量を補正し、次にスロットル弁開度を燃焼パラメータ ($P_{mtdc} - P_{min}$) を用いて補正し、スロットル弁開度の補正後に P_{max} が生じるクランク角を燃焼パラメータとして用いて燃料噴射時期を補正する。

このように、本来変化速度の遅い EGR ガス量をまず補正してから噴射時期を補正するようにしたのは、切り換え時の初期には一般に燃料噴射時期の変化に対して燃焼パラメータの変化が小さくなり感度が低くなること、及び空燃比と噴射時期とを同時に制御した場合に制御の発散が生じる問題を防止するためである。

図 1 6 は燃焼モード切り換え制御操作の概略を示すフローチャートである。本操作は、E C U 2 0 により実行される。

図 1 6 の操作では、ステップ 1 6 0 1 でまず機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とが、それぞれクランク角センサ 2 5 とアクセル開度センサ 2 1 とから読み込まれ、ステップ 1 6 0 3 では筒内圧センサ出力に基づいて P_{max} が算出される。そして、ステップ 1 6 0 5 では、この P_{max} の値が機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる P_{max} 目標値に一致するまで燃料噴射量がフィードバック制御される。

そしてステップ 1 6 0 5 の燃料噴射量のフィードバック制御が完了後、ステップ 1 6 0 7 では筒内圧センサ出力に基づいてパラメータ ($P_{mtdc} - P_{min}$) が算出され、ステップ 1 6 0 9 では、($P_{mtdc} - P_{min}$) の値が機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる目標値に一致するまでスロットル弁開度がフィードバック制御される。

そしてステップ 1 6 0 9 でスロットル弁開度調整を終了した後、ステップ 1 6 1 1 では、再度 P_{max} の値が目標値に収束しているか否かを判断し、 P_{max} が目標値から所定量以上離れている場合には、再度ステップ 1 6 0 1 からの操作を実行する。

ステップ 1 6 1 1 で P_{max} が目標値に収束している場合には、次にステップ 1 6 1 3 に進み、筒内圧センサ出力から P_{max} が生じているクランク角を算出し、このクランク角が機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる目標値に一致するまで燃料噴射時期をフィードバック制御する。

図 1 6 の切り換え制御を行うことにより、燃焼モード切り換えなどの過渡運転時にも、機関燃焼状態は最適に制御されるようになる。

次に、燃焼パラメータに基づくEGRガス量の制御について詳細に説明する。本実施形態では、燃焼パラメータとして $P V_{max}$ 、 $\theta_{p v m a x}$ 、 $\Delta P V_{max}$ 及び Δt を用いてEGRガス量、燃料噴射量、燃料噴射時期のフィードバック制御を行う。

図17は、本実施形態で使用する燃焼パラメータ、 $P V_{max}$ 、 $\theta_{p v m a x}$ 、 $\Delta P V_{max}$ 及び Δt を示している。

図17横軸は、気筒の圧縮行程から膨張行程にかけてのクランク角(CA)を、縦軸は前述したPV値を、それぞれ示している。横軸にTDCで示すのは圧縮上死点である。

PV値は圧力と体積との積であるため、気体の状態方程式 $P V = M R T$ の関係(M:気体のモル数、R:一般ガス定数(J/mol・K)、T:温度(°K))より、筒内温度に相当する値となる。また、実験からPVが最大値 $P V_{max}$ となるタイミング(図17、 $\theta_{p v m a x}$)は筒内で噴射された燃料の燃焼が終了した時点(厳密には90パーセントの燃料が燃焼した時点)に対応することが確認されている。このため、 $\theta_{p v m a x}$ は筒内での燃焼終了時を表す指標として用いることができる。

図17において、 $\theta_{i n j}$ は燃料噴射弁(10aから10d、以下参照符号10で総称する)からの燃料噴射開始時期を示す。また、図17に Δt で示すのは、燃料噴射開始($\theta_{i n j}$)から燃焼終了時($\theta_{p v m a x}$)までの時間(クランク角)で定義される燃焼完了時間である。燃料噴射弁10から噴射された燃料はある着火遅れ時間経過後に燃焼を開始し、種々の条件によって定まる燃焼時間経過後に燃焼が終了する。このため、燃焼完了時間 Δt ($= \theta_{p v m a x} - \theta_{i n j}$)は、燃料の着火遅れ時間と燃焼時間との合計に対応している。

また、図17において点線で示すのは、気筒内で燃焼が生じなか

った場合の PV 値の変化 (PV_{base}) を表す。 PV_{base} は、ピストンの上下動のみによる筒内の気体の圧縮と膨張とを表すため、上死点に対して対称な曲線となる。

前述したように、 ΔPV_{max} は PV 値の最大値 PV_{max} と、 θ_{pvmx} における PV_{base} の値 $PV_{maxbase}$ との差として定義される。

θ_{pvmx} における PV_{base} の値 $PV_{maxbase}$ は、吸気行程終了時における筒内圧と θ_{pvmx} における筒内容積とから容易に算出することができる。しかし、前述したように、 PV_{base} 曲線は圧縮上死点に対して対称になる。このため、本実施形態では、 θ_{pvmx} 検出後、上死点に対して対称となる圧縮行程の点 (図 17 に θ_{pvmx}' で示す) における PV_{base} の値を使用して ΔPV_{max} を算出するが、実際には燃焼が生じる前の圧縮行程では PV 値と PV_{base} 値とは同一となる。このため、本実施形態では実際には θ_{pvmx}' における PV 値を θ_{pvmx} における PV_{base} 値として使用することにより、簡易に ΔPV_{max} の値を算出している。

次に、燃焼パラメータ Δt 、 PV_{max} 、 θ_{pvmx} 及び ΔPV_{max} の有する意味について説明する。

前述したように、燃料噴射開始から θ_{pvmx} までの期間である燃焼完了時間 Δt は、噴射された燃料の着火遅れ時間と燃焼時間との合計に対応している。一方、着火遅れ時間と燃焼時間とは、ともに EGR 率 (筒内に吸入されるガスに占める EGR ガス量の割合) の影響を大きく受け、 EGR 率が大きくなるにつれて Δt も増大する。このため、燃焼完了時間 Δt は筒内 EGR 率と密接な相関を有しており、 EGR 率を表す指標として使用することができる。

また、 PV_{max} が生じる時期 θ_{pvmx} は燃焼の終了時期に

相関があり、筒内の燃焼状態に大きく関係する。また、他の条件が同一であれば燃焼の終了時期は燃料噴射時期に応じて変化する。

更に、 $\Delta P V_{max}$ の値は、燃焼時と燃焼が生じなかった時の $P V$ 値の差（温度差）であるため、燃焼室内で燃焼した燃料の量、すなわち燃料噴射量と相関がある。

本実施形態では、上記に着目し、 Δt 、 $\theta_{p v_{max}}$ 、 $\Delta P V_{max}$ を用いて、EGRガス量、燃料噴射時期、燃料噴射量を最適値にフィードバック制御する。

すなわち、本実施形態では予め機関の運転状態（アクセル開度と回転数との組み合わせ）を変えて機関を運転し、燃費、排気ガス性状等の点で最適な燃焼状態を得られる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR率（EGR弁開度）を探し、これらの値をそれぞれの運転状態における燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度の基準値として、アクセル開度と回転数とを用いた2次元数値マップの形（以下、便宜的に「基準噴射条件マップ」と呼ぶ）でECU20のROMに格納してある。

また、本実施形態では上記各運転状態において最適な燃焼状態が得られた時の燃焼パラメータ Δt 、 $\theta_{p v_{max}}$ 及び $\Delta P V_{max}$ の値を算出し、アクセル開度と回転数とを用いた2次元数値マップ（以下、便宜的に「目標特性値マップ」と呼ぶ）の形でECU20のROMに格納してある。

実際の運転では、ECU20はまず機関回転数とアクセル開度とから上記基準噴射条件マップを用いて燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度を求め、燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度を基準噴射条件マップ値に制御する。

そして、この状態で筒内圧センサ29aから29dの圧力に基づいて、各気筒の Δt 、 $\theta_{p v_{max}}$ 、 $\Delta P V_{max}$ の燃焼パラメー

タを算出する。そして、現在のアクセル開度と回転数とを用いて前述の目標特性値マップから、最適燃焼状態における燃焼パラメータの目標値 Δt 、 $\theta_{pvm\max}$ 、 $\Delta PV\max$ を求め、実際の燃焼パラメータがこれらの目標値に一致するように、基準噴射条件マップから定まる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度等を調整する。

具体的には、ECU20はEGR弁35の開度を調節して実際の燃焼パラメータ Δt が目標値になるようにフィードバック制御するとともに、 $\theta_{pvm\max}$ と $\Delta PV\max$ とがそれぞれの目標値に一致するように燃料噴射時期と燃料噴射量とをフィードバック制御する。

これにより、実際の燃焼状態が最適な状態になるように、EGR及び燃料噴射が制御される。

図18、図19は、上記燃焼圧特性に基づく制御操作（燃焼パラメータ制御操作）を具体的に説明するフローチャートである。図18、図19の操作はそれぞれ、ECU20により一定時間毎に実行されるルーチンとして行われる。

図18は、燃料噴射とEGRとの基本制御操作を示している。図18の操作ではECU20は燃料噴射量、燃料噴射時期、及びEGR弁35開度を、それぞれ機関回転数 N_e とアクセル開度 A_{ccp} とから定まる基準値と、図19の操作から燃焼パラメータに基づいて定まる補正量との和として設定する。

図18において、ステップ301ではアクセル開度 A_{ccp} と機関回転数 N_e とが読み込まれ、ステップ303では予めECU20のROMにそれぞれ A_{ccp} と N_e とを用いた2次元数値マップの形で格納された前述の基準噴射条件マップから、ステップ301で読み込んだ A_{ccp} と N_e との値を用いて、基準燃料噴射量 F_I 。

、基準燃料噴射時期 θI_0 、基準 EGR 弁開度 EGV_0 が読み出される。

基準燃料噴射量、基準燃料噴射時期、基準 EGR 弁開度は、予め実際に機関を運転して求めた、最適な燃焼状態が得られる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度である。

上記基準値は、実験時の環境において最適な燃焼状態を得ることができる燃料噴射量、時期、EGR 弁開度であるが、実際の運転においては燃料の相違や、機関運転環境（気温、大気圧等）の相違、機器類のばらつきや特性変化等があるため、上記基準値を用いて運転しても最適な燃焼状態を得ることができるとは限らない。

そこで、本実施形態では、上記により求めた基準値 FI_0 、 θI_0 、 EGV_0 に補正量 α 、 β 、 γ を加えて補正した値を実際の燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度として設定する。すなわち、ステップ 305 では、実際の燃料噴射量 FI 、燃料噴射時期 θI 、EGR 弁開度 EGV が、 $FI = FI_0 + \alpha$ 、 $\theta I = \theta I_0 + \beta$ 、 $EGV = EGV_0 + \gamma$ として設定され、ステップ 307 では、ステップ 305 で設定された値で燃料噴射及び EGR 弁開度制御が行われる。

ここで、 α 、 β 、 γ は図 19 の操作により燃焼パラメータに基づいて設定されるフィードバック補正量である。

図 19 の操作について説明すると、まずステップ 401 ではアクセル開度 $Accp$ と機関回転数 Ne とが読み込まれる。そして、ステップ 403 では、予め ECU 20 の ROM に格納された、 $Accp$ と Ne とを用いた 2 次元マップから $\theta_{pvm}ax$ 、 ΔPV_{max} 、 Δt の目標値 $\theta_{pvm}ax_0$ 、 ΔPV_{max_0} 、 Δt_0 が読み出される。目標値 $\theta_{pvm}ax_0$ 、 ΔPV_{max_0} 、 Δt_0 は、それぞれのアクセル開度、回転数において最適な燃焼が得られたときの $\theta_{pvm}ax$ 、 ΔPV_{max} 、 Δt の値である。

そして、ステップ 405 では、筒内圧センサ 29a ~ 29d の出力に基づいて各気筒の $\theta_{pvm\max}$ 、 $\Delta P V_{\max}$ 、 Δt の燃焼パラメータが算出される。

そして、ステップ 407 から 411 ではステップ 405 で算出した実際の燃焼パラメータの値がステップ 403 でマップから求めた目標値に一致するように補正量 α 、 β 、 γ がフィードバック制御される。

すなわち、ステップ 407 ではまず、実際の $\Delta P V_{\max}$ の値が目標値 $\Delta P V_{\max_0}$ に一致するように燃料噴射量の補正量 α がフィードバック制御され、ステップ 409 では実際の $\theta_{pvm\max}$ の値が目標値 $\theta_{pvm\max_0}$ に一致するように燃料噴射時期の補正量 β がフィードバック制御され、そして、ステップ 411 では実際の Δt の値が目標値 Δt_0 に一致するように EGR 弁開度の補正量 γ がフィードバック制御される。ステップ 407 から 411 におけるフィードバック制御は、例えば、それぞれの目標値からの実際の値の偏差に基づく P I D 制御とされる。

例えば、本実施形態における P I D 制御を燃料噴射時期の補正量 β を例にとって具体的に説明すると、実際の $\theta_{pvm\max}$ の値と目標値 $\theta_{pvm\max_0}$ との偏差を δ とすると、補正量 β は以下の式を用いて算出される。

$$\beta = K_1 \times \delta + K_2 \times \Sigma \delta + K_3 \times (\delta - \delta_{i-1})$$

ここで、右辺第 1 項 $K_1 \times \delta$ は比例項、第 2 項 $K_2 \times \Sigma \delta$ は積分項であり、 $\Sigma \delta$ は、偏差 δ の積算値（積分値）を表す。また、第 3 項 $K_3 \times (\delta - \delta_{i-1})$ は微分項であり、 $(\delta - \delta_{i-1})$ は偏差 δ の前回からの変化量（微分値）を表している（ δ_{i-1} は前回の δ の値）。また、 K_1 、 K_2 、 K_3 は定数である。

上記のように、図 18 と図 19 との操作を繰り返すことにより、

実際の燃料噴射量、燃料噴射時期及びEGR弁開度（EGR率）は、燃焼パラメータが目標値に一致するように制御される。

このように、実際の運転における燃焼パラメータが目標値に一致するように燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR率をフィードバック制御することにより、例えば、機関の運転環境の相違や機器の特性変化やばらつき、燃料の相違などを個別に考慮することなく、容易に最適な燃焼状態を得ることができる。

なお、図18、図19の操作では燃料噴射量、時期等をまず基準値に制御して、この基準値に対する補正量を燃焼パラメータを用いてフィードバック制御することにより、燃料噴射量等が最適な燃焼状態を与える値に短時間で収束するようにしている。しかし、燃料噴射量などの基準値を予め設定することなく燃料噴射量、時期、EGR率そのものを燃焼パラメータを用いてフィードバック制御するようにすることも可能である。

ところで、図18、図19のように燃料噴射時期 θ_{I} を $\theta_{pvm\max}$ と $\theta_{pvm\max_0}$ との偏差 δ に基づいて制御する場合、特に、前述した低温燃焼モードでの運転時などのように燃料噴射時期の目標値自体が大幅に進角されているような場合には、制御が発散する可能性が生じる。

例えば、実際の $\theta_{pvm\max}$ の値が目標値 $\theta_{pvm\max_0}$ より遅れるような場合には、 $\theta_{pvm\max}$ を早めるために燃料噴射時期 θ_I は進角される。ところが、低温燃焼時のように燃料噴射時期が既に大幅に進角設定されているような場合には、過度に燃料噴射時期を進角すると、燃焼が不安定になり失火が生じやすくなるため、燃料噴射時期を進角するとかえって $\theta_{pvm\max}$ が遅く生じるようになる場合がある。

このような場合に、 $\theta_{pvm\max}$ を用いて燃料噴射時期を制御し

ていると、燃料噴射時期は更に進角されてしまい、制御が発散するのみならず、例えば過度の燃料噴射進角により、気筒内でピストンが十分に上昇していない位置で燃料噴射が行われ、噴射された燃料がピストン上に形成された凹部（ボウル）内から外にあふれたり、或いは噴射された燃料が直接シリンダ壁に当たるような場合（ボアフッシング）が生じ、シリンダ壁に液状燃料が付着するために潤滑油の希釈や燃費及び排気性状の悪化を生じる問題がある。

特に、図19ステップ411のように同時に Δt を用いてEGRガス量を制御しているような場合には、燃料噴射時期が過度に進角されると Δt の値も過大になりEGRガス量は大幅に低減されるため、燃料噴射時期の変化とEGRガス量の増減とが互いに影響しあって制御が安定しなくなる場合が生じる。

そこで、本実施形態では図18、ステップ305で算出された燃料噴射時期 θI に対して進角ガード値 θI_{max} を設け、燃料噴射時期が θI_{max} 以上に進角しないようにしている。

具体的には、図18ステップ305で、燃料噴射時期 θI が、 $\theta I = \theta I_0 + \beta$ として算出されると、ECU20は算出された θI と進角ガード値 θI_{max} とを比較し、 θI が θI_{max} 以上に進角設定されている場合（ $\theta I \geq \theta I_{max}$ ）には、算出された θI の代わりに θI_{max} を用いてステップ307で燃料噴射制御を実行する。すなわち、ステップ305で算出された θI の値は進角ガード値 θI_{max} より遅角側（ $\theta I \leq \theta I_{max}$ ）にある場合にのみステップ307で使用するようになる。

これにより、燃焼パラメータ θ_{pvm} を用いた燃料噴射時期のフィードバック制御において過度の進角が防止されるため、ボアフッシングによる潤滑油の希釈や燃費、排気性状の悪化が防止されるとともに、過進角による燃料噴射時期制御の発散や、 Δt を用

いた E G R ガス量のフィードバック制御との干渉が防止され、燃料噴射時期や E G R ガス量が目標値に短時間で収束するようになる。

なお、燃料噴射時期の進角ガード値 $\theta_{I\max}$ は、燃料噴射弁から噴射された燃料がピストンのボウル内から外にあふれたり、壁面に付着したりすることがない時期であり、機関回転数と燃料噴射圧力等の噴射条件により定まる値となる。この値は、ピストン形状や燃料噴射弁の配置、機関回転数、噴射圧力など種々の条件により異なってくるため、実際の機関を用いた実験に基づいて、回転数（燃料噴射圧力）毎に数値マップとして作成しておくことが好ましい。

次に本発明の別の実施形態について説明する。

本実施形態では、機関 1 は通常のディーゼル燃焼モード、すなわち圧縮行程終期に燃料噴射を行い、空燃比の高い拡散燃焼を行う燃焼モードと、低温燃焼モード、すなわち、燃料噴射時期を大幅に進角して気筒内に予混合気を形成するとともに、E G R ガス量を大幅に増大して空燃比の低い燃焼を行う燃焼モードとの 2 つの燃焼モードを切り換えて運転する。低温燃焼では、空燃比が比較的低い燃焼でありながら大量の E G R ガスを燃焼室に供給することにより NO_x などの有害物質の生成を大幅に抑制し、更にディーゼル機関でありながら予混合燃焼を行うことにより、煤の発生量を大幅に低減することができる。

ところが、低温燃焼モードでの運転では燃焼状態の変化は E G R 率の変化に対する感度が極めて大きく、E G R 率が少し変化しただけで燃焼状態が大幅に悪化するようなケースも生じる。

そこで、本実施形態では、機関が低温燃焼モードで運転されているときに、E G R 率（E G R 弁開度）を燃焼パラメータに基づいてフィードバック制御するようにしている。

図 20 は、本実施形態の燃焼パラメータに基づく E G R 率制御操

作を説明するフローチャートである。本操作は、E C U 2 0 により一定時間毎に実行されるルーチンとして行われる。

図 2 0 の操作では、まずステップ 5 0 1 で現在機関が低温燃焼モードで運転されているか否かが判定され、低温燃焼モードで運転されていないときにはステップ 5 0 3 以下を実行することなく直ちに本操作を終了する。この場合には、例えば E G R 率は従来と同様なアクセル開度と機関回転数とに基づくオープンループ制御により制御される。

ステップ 5 0 1 で現在低温燃焼モードで機関が運転されている場合には、次にステップ 5 0 3 に進み、現在のアクセル開度 $A c c p$ と機関回転数 $N e$ とをそれぞれ対応するセンサーから読み込んで、ステップ 5 0 5 では予め E C U 2 0 の R O M に $A c c p$ と $N e$ との 2 次元数値マップの形で格納した燃焼完了時間 Δt の目標値マップから、現在の $A c c p$ と $N e$ とにおける Δt の目標値 Δt_0 を読み出す。

ここで、 Δt_0 は、低温燃焼モードにおいて最適な燃焼状態が得られる E G R 率で E G R ガスを供給した場合の燃焼完了時間である。

次いで、ステップ 5 0 7 では、筒内圧センサ 2 9 a ~ 2 9 d の出力に基づいて現在の実際の燃焼完了時間 Δt が算出される。そして、ステップ 5 0 9 では、実際の燃焼完了時間 Δt が目標値値 Δt_0 に一致するように E G R 弁開度がフィードバック制御される。このフィードバック制御は、図 1 9 の場合と同様、例えば目標値 Δt_0 と実際値 Δt との偏差に基づく P I D 制御とされる。

なお、本実施形態では燃料噴射量と燃料噴射時期とは、別途 E C U 2 0 により実行されるルーチンにより、予め低温燃焼モードでの運転に最適な値に設定されてる。

図 20 のように、特に EGR 率の変化に敏感な低温燃焼モードでの運転時に、燃焼パラメータ Δt に基づいて機関の EGR 率を制御することにより、低温燃焼時にも安定した最適な燃焼状態を得ることができる。

ところで、上記のように低温燃焼モードに移行後は Δt に基づく制御により最適な EGR 率を得ることができるが、通常燃焼モードから低温燃焼モードへの移行の際には、 Δt に基づくフィードバック制御により EGR ガス量を調節していると、低温燃焼モード移行後の EGR 率の目標値に収束するまでに比較的長い時間を要する場合がある。

前述したように、低温燃焼モードでは通常燃焼モードに較べて燃料噴射時期が大幅に進角される。ところが、低温燃焼モードへの移行時に一挙に燃料噴射時期を進角させると燃焼状態の急変により機関出力トルクが変動し、いわゆるトルクショックが生じる問題がある。このため、通常燃焼モードから低温燃焼モードへの移行時には一定の移行期間を設け、この移行期間（時間）内に燃料噴射時期を通常燃焼モードでの値から低温燃焼モードでの目標値まで比較的緩やかに連続的に変化させる、移行処理（なまし処理）が行われる。

従って、移行処理中は Δt 算出に用いる燃料噴射時期（図 17、 θ_{inj} ）は徐々に変化（進角）し、それに応じて P_{Vmax} が生じる時期（図 17、 θ_{pvmx} ）も徐々に変化（進角）するため、切り換え開始時には Δt の値は切り換え前の値からあまり大きく変化せず、比較的小さい値となる。

従って、低温燃焼モード切り換え後の Δt の目標値 Δt_0 と実際の Δt との差も切り換え前に割られべてあまり大きくなりならず、EGR 弁の開度変化も比較的小さくなる。すなわち、EGR 弁の開度は燃料噴射時期の進角とともに徐々に変化するようになる。実際の E

G R ガス量の変化は E G R 弁開度変化よりも遅くなるため、切換時に E G R 弁の開度変化が小さいと実際の E G R ガス量の変化はかなり緩やかになってしまう。

一方、低温燃焼モードでは通常燃焼モードに較べて E G R ガス量は大幅に増大させる必要があるが、上記のように移行期間中に E G R 弁の開度を実際の Δt に応じて徐々に変化させたのでは、E G R ガス量変化の遅れにより、低温燃焼モード移行完了時（燃料噴射時期が目標値に到達した時）にも E G R 率は低温燃焼モードでの目標値に到達しておらず、目標値に収束するのに時間を要する場合がある。

そこで、本実施形態では移行期間中は Δt を算出する際に実際の燃料噴射時期を使用せず、低温燃焼への移行完了後の目標燃料噴射時期を使用するようにしている。これにより、移行期間開始時には実際の燃料噴射時期を用いた場合より Δt の値は大幅に大きくなり移行完了後の Δt 目標値との偏差も大きくなる。本実施形態では E G R 弁開度を Δt と Δt 目標値との偏差に基づいてフィードバック制御しているため、これにより E G R 弁開度も大きく変化するようになる。

図 2 1 は、本実施形態における通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換えの移行期間における Δt 変化を説明する図である。

図 2 1 において、カーブ θ_{inj} は燃料噴射時期の変化を、カーブ θ_{pvmx} は $P V_{mx}$ が生じる時期の変化をそれぞれ表しており、実際の Δt （実 Δt ）は、この 2 本のカーブの距離に等しくなる（図 2 1 参照）。

図 2 1 において、通常燃焼モードから切り換えの移行期間が開始されると、燃料噴射時期 θ_{inj} は連続的に進角され、移行期間終了時には低温燃焼モードにおける目標燃料噴射時期になる。

この場合、図 2 1 に示すように θ_{inj} は移行開始ににも大きく変化しないため、実際の燃料噴射時期を用いた Δt (実 Δt) は移行期間開始時からあまり大きな値をとらず EGR 弁の開度も大きく変化しない。このため、EGR ガス量変化はかなり緩やかなものとなり、 θ_{pvmx} の変化も図 2 1 に実線で示すように緩やかなものになってしまう。このため、 θ_{pvmx} の値は燃料噴射時期の切り換えが完了した時点でも低温燃焼における目標値には到達せず、このため、 θ_{pvmx} が目標値に到達するまでに (すなわち、EGR 率が目標値に到達するまでに) 図 2 1 に示すように遅れ時間が生じるのである。

これに対して、実際の燃料噴射時期に代えて低温燃焼モード切り換え後の燃料噴射時期目標値を使用して算出した Δt は、図 2 1 に示すように実 Δt に較べて大きな値になる。従って、本実施形態では EGR 弁開度も大きく変化し EGR ガス量変化 (増大) 速度も速くなるため、 θ_{pvmx} は図 2 1 に点線で示すように変化し、実 Δt を用いた場合の遅れ時間が生じることが防止される。

これにより、本実施形態では通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換え時に EGR 率を目標値に短時間で収束させることが可能となっている。

次に、図 2 2 を用いて上記とは逆の低温燃焼モードから通常燃焼モードへの切換時の制御について説明する。

例えば、燃焼パラメータを用いた燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 率などの制御を低温燃焼モード運転中のみ行い、通常燃焼モード時には従来のオープンループ制御を行うような場合について考える。

この場合、低温燃焼モード運転時には燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR ガス量などは燃焼パラメータ (Δt 、 θ_{pvmx} 、 ΔP

V_{max} 等)に基づいてフィードバック制御されており、実際の燃料噴射量、燃料噴射時期、EGRガス量などはフィードバック補正量を含んだものとなっている。

例えば燃料噴射時期を例にとって説明すると、図18ステップ305で説明したように、低温燃焼中の実際の燃料噴射時期は、目標値 θ_{I_0} にフィードバック補正量 β を加えた量となっている。

通常、図22に示すように、低温燃焼モードから通常燃焼モードへの切り換え時にも図21で説明したと同様な移行期間が設けられており、燃料噴射時期の目標値は低温燃焼モード時のものから通常燃焼モード時の目標値に移行期間内に連続的に変化するようにされている。

ところが、上述のように低温燃焼モードでの実際の燃料噴射時期はフィードバック補正量 β を含んだものであり、通常燃焼モードでの燃料噴射時期はフィードバック補正量 β を含まない目標燃料噴射時期（オープンループ制御）である。このため、どの時点でフィードバック制御を停止して、フィードバック補正量 β を0にするかが問題となる。例えば、移行期間開始とともに直ちにフィードバック制御を停止すると移行期間開始と同時に燃料噴射時期はフィードバック補正量 β だけ急激に変化することになり、燃料噴射時期の急変によるトルク変動が生じる可能性がある。これは、移行期間中もフィードバック制御を継続し、移行完了とともにフィードバック制御を停止した場合も同様である。

そこで、本実施形態では図22に示すように、移行期間開始と同時にフィードバック制御は停止するものの、移行期間開始時のフィードバック補正量 β は直ちに0にせず、移行期間終了時に0になるように徐々に連続的にフィードバック補正を減少させるようにしている。

図 2 2 において、点線は燃料噴射時期の目標値 θI_0 を、実線は実際の燃料噴射時期 θI を示している。図に示すように、低温燃焼モード運転では、燃焼パラメータ $\theta p v m a x$ に基づくフィードバック制御が行われており、目標値 θI_0 と実際の燃料噴射時期 θI との間にはフィードバック補正量 β だけ差が生じている。

移行期間が開始されると、本実施形態では直ちにフィードバック制御は停止するものの、移行開始時には実際の燃料噴射時期 θI は移行期間開始時のフィードバック補正量 β を含んだ値のままに維持される。このため、本実施形態では移行期間開始時のフィードバック制御停止による燃料噴射時期の急変が防止される。

そして、図 2 2 に示すように、移行期間中 β の値は移行期間終了時に 0 となるように連続的に低減される（例えば、 β の値を移行期間開始後の時間経過に比例して減少させる）。これにより、移行期間中に実際の燃料噴射時期 θI は徐々に目標燃料噴射時期 θI_0 に近づき、移行期間終了時には θI_0 と一致するようになる。これにより、本実施形態ではトルク変動を生じることなく低温燃焼モード中の燃料噴射時期のフィードバック制御から通常燃焼モードでのオープンループ制御に移行することが可能となっている。

なお、図 2 2 は燃料噴射時期を例にとって説明したが、燃料噴射量、或いは E G R ガス量についても同様な移行制御を行うことができることは言うまでもない。

次に、上記の燃焼パラメータを用いた E G R 制御の別の応用例について説明する。上記の各実施形態では、燃焼パラメータ Δt を用いて E G R 率を正確に制御し、低温燃焼時にも燃焼に最適な E G R 率を得ることを可能としている。

例えば、機関排気通路に流入する排気の空燃比がリーンのときに排気中の $N O_x$ を吸収、吸着またはその両方で吸蔵し、流入する排

気の空燃比がリッチになったときに、排気中のCO等の還元成分やHC等を用いて吸蔵した NO_x を還元浄化する公知の NO_x 吸蔵還元触媒を設けて排気浄化を行う場合などには、上記 NO_x 吸蔵還元触媒に吸蔵された NO_x の還元浄化時などには、排気空燃比（機関空燃比）を正確に制御する必要がある。ところが、上記の制御では応答性良好に最適なEGR率を得ることはできるものの、機関の燃焼空燃比（排気空燃比）を正確に制御することができるとは限らない。

例えば、燃料噴射弁の噴射特性が内部機構の摩耗などにより変化した場合、或いは噴射特性の製品毎のばらつきがある場合などは、燃焼パラメータを目標値に制御しても必ずしも目標空燃比が得られているとは限らない。

一方、排気空燃比を目標空燃比に制御するためには、排気通路に空燃比センサを配置して、直接排気空燃比を計測することにより、排気空燃比が目標値になるようにEGR制御弁をフィードバック制御することも可能である。

しかし、空燃比センサを用いたEGR制御は排気ガスのセンサ取付位置までのガス輸送遅れや、センサ自体の応答遅れがあるため過渡運転時などのように機関運転条件が変化するような場合には必ずしも精度良くEGRガス量を制御することばできない。

そこで、本実施形態では燃焼パラメータを用いたEGRフィードバック制御に、更に空燃比センサ出力に基づくフィードバック学習制御を組み合わせる事により、過渡運転時を含めて応答性良くEGRガス量を制御し、排気空燃比を高精度で制御することを可能としている。

すなわち、本実施形態では例えば、図20のフィードバック制御により Δt が目標値 Δt_0 に一致するように制御されている状態で

、所定の学習制御条件（例えば、機関が定常状態で運転されていることなど）が満たされた場合に、排気通路に配置した空燃比センサで検出した排気空燃比が、アクセル開度 A_{ccp} 、機関回転数 N_e とから定まる目標空燃比に一致するように燃焼完了期間目標値 Δt_0 の値を少しずつ変化させる。

例えば、実際の排気空燃比が目標空燃比よりリッチ側であった場合には目標値 Δt_0 を所定量 g_t だけ減少させ、目標空燃比よりリーン側であった場合には目標値 Δt_0 を所定量 g_t だけ増大させる。

そして、増減後の目標値 Δt_0 を用いて、再度 Δt に基づく EGR ガス量制御を行い、実際の Δt が増減後の目標値 Δt_0 に一致するように EGR ガス量を調整し、実 Δt と補正後の目標値 Δt_0 とが一致したら、再度空燃比センサで検出した排気空燃比と目標空燃比とが一致したか否かを判断し、一致していない場合には再度目標値 Δt_0 を所定値 g_t だけ増減させ、上記の操作を繰り返す。

そして、排気空燃比と Δt との両方が目標値と一致したときの目標値 Δt_0 を、そのアクセル開度 A_{ccp} と機関回転数 N_e における新しい目標値（学習値）として記憶する操作を行う。このように、実際の空燃比センサ出力に基づいて、燃焼パラメータ Δt_0 の学習補正を行うことにより、応答性良好に EGR 率を制御しながら排気空燃比を正確に制御することが可能となる。

次に、本発明の別の実施形態について説明する。

前述の各実施形態では、PV 値を算出し、燃焼パラメータとして PV_{max} に基づいて求めた Δt を用いて EGR ガス量を制御していた。しかし、EGR ガス量の制御に適した燃焼パラメータとしては、 PV_{max} 、或いは Δt 以外にも着火遅れ期間と燃焼期間との一方または両方に密接な相関を有する値であれば同様に使用するこ

とができる。

例えば、本実施形態では着火遅れ期間と燃焼期間とに密接な相関を有する燃焼パラメータとして $P V^\kappa$ の値が最小値 $P V^\kappa_{min}$ をとるまでの時間 Δt_d と、 $P V^\kappa$ の値が最小値 $P V^\kappa_{min}$ をとってから最大値 $P V^\kappa_{max}$ をとるまでの時間 Δt_c とを使用している。

ここで、 $P V^\kappa$ は各クランク角における燃焼内圧力 P と、そのクランク角における燃焼室容積 V を κ 乗した値との積である。また、 κ は混合気の比熱比である。

ここで、気体の状態方程式から断熱変化においては $P V^\kappa = \text{一定}$ となるが、実際の気筒内圧縮行程では、シリンダ壁やピストンを通じての混合気からの放熱があるため、気筒内圧縮行程では $P V^\kappa$ は圧縮開始から徐々に減少する。

一方、混合気に着火して燃焼が開始されると燃焼熱が発生するため、 $P V^\kappa$ の値は増加を開始する。このため、 $P V^\kappa$ の値が減少から増加に転じる点、すなわち $P V^\kappa$ が最小値 $P V^\kappa_{min}$ となる点は燃焼の開始点である。また、同様に燃焼中は $P V^\kappa$ の値は増加を続けるが、燃焼が完了して熱が発生しなくなると $P V^\kappa$ の値は再度減少し始める。従って $P V^\kappa$ の値が増加から減少に転じる点、すなわち $P V^\kappa$ が最大値 $P V^\kappa_{max}$ となる点は燃焼の終了点である。

今、燃料噴射開始時期を θ_{inj} 、 $P V^\kappa$ が最小値 $P V^\kappa_{min}$ となるクランク角を θ_{start} とすると、 $\Delta t_d = \theta_{start} - \theta_{inj}$ は燃料噴射開始から燃焼開始までの期間であるので着火遅れ期間に等しくなる。

また、 $P V^\kappa$ が最大値 $P V^\kappa_{max}$ となるクランク角を θ_{end} とすると、 $\Delta t_c = \theta_{end} - \theta_{start}$ は、燃焼が開始してから終了するまでの期間、すなわち燃焼期間に等しくなる。

前述したように、着火遅れ期間と燃焼期間とはともに EGR 率と密接な相関を有しており、EGR 率が増大すると着火遅れ期間、燃焼期間は共に増加し、EGR 率が減少すると、共に減少する。

そこで、本実施形態では着火遅れ期間 Δt_d または燃焼期間 Δt_c のいずれか一方を用いて前述の Δt を用いた場合と同様な方法で EGR 率を制御するようにしている。

すなわち、本実施形態では予め最適な EGR 率となった燃焼状態における着火遅れ期間（または燃焼期間）の値を目標値 Δt_{d_0} （または Δt_{c_0} ）として、各アクセル開度 A_{ccp} 、機関回転数 N_e 毎に設定してある。そして、実際の運転では各行程サイクル毎に燃焼室内圧力とクランク角とから $P V^*$ の値を算出するとともに、この $P V^*$ の値が最小値（または最小値及び最大値）となるクランク角を検出し、実運転における Δt_d （または Δt_c ）を算出する。

そして、 Δt_d （または Δt_c ）と現在の運転状態（ A_{ccp} 、 N_e ）におけるその目標値 Δt_{d_0} （または Δt_{c_0} ）との偏差に基づいて EGR 制御弁開度をフィードバック制御する。

なお、比熱比 κ は近似的に一定値とすることができ、燃焼室内容積 V はクランク角の関数となり予め計算することが可能である。従って、 $P V^*$ の算出に際しては、予め各クランク角毎の V^* の値を算出して数値テーブルの形で ECU 20 の ROM に記憶しておくことにより、簡易に $P V^*$ の値を算出することができる。

これにより、 Δt を用いたフィードバック制御の場合と同様に、制御回路の演算負荷を増大させることなく、しかも正確に応答性良く EGR 率を制御することができる。

すなわち、本実施形態では筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力に基づいて着火遅れ期間または燃焼期間の少なくとも一方を含む燃

焼タイミングに対応する燃焼パラメータを算出し、この燃焼パラメータが予め定めた目標値になるようにEGR率を制御する事により、正確に応答性良くEGR率を制御することを可能としているのである。

なお、主燃料噴射に先立って少量の燃料を噴射して燃焼室内で燃焼させることにより、主燃料噴射燃料の燃焼に良好な温度圧力条件を整えるパイロット噴射を行う場合には、算出した $P V^*$ の値が最小値 $P V^*_{min}$ か否かの判断は、主燃料噴射開始後に開始するようにすれば、パイロット燃料噴射燃料の燃焼開始時点を主燃料噴射燃料の噴射開始点として誤検出することが防止される。

次に、本発明の別の実施形態について説明する。

本実施形態では、マルチ燃料噴射を行う場合の燃料噴射量、噴射時期の制御について詳細に説明する。

前述したように、マルチ燃料噴射は主燃料噴射に先立って行われるパイロット噴射、主燃料噴射の後に行われるアフター噴射などを含んでいるが、パイロット噴射、アフター噴射もその噴射時期によりいくつかに分けることができる。

図23は、本実施形態におけるマルチ燃料噴射を構成するそれぞれの燃料噴射を説明する図である。

図23において、横軸はクランク角(CA)を示し、横軸上のTDCは圧縮上死点を表している。また図23の縦軸はそれぞれの燃料噴射の噴射率を表しており、それぞれの山の面積は概略各燃料噴射の相対的な燃料噴射量を示している。図に示すように、マルチ燃料噴射では早期パイロット噴射、近接パイロット噴射、メイン噴射(主燃料噴射)、アフター噴射、ポスト噴射等の全部または一部が行われる。

以下、メイン噴射以外のそれぞれの燃料噴射について簡単に説明

する。

(1) 早期パイロット噴射

早期パイロット噴射は、メイン噴射よりかなり早い時期（例えばメイン噴射開始よりクランク角で20度（20°CA）以上早い時期に行われるパイロット噴射である。早期パイロット噴射で噴射された燃料は予混合気を形成し、圧縮着火するためNO_xやパティキュレートをほとんど生成せず、早期パイロット噴射を行うことにより排気性状を向上させることができる。また、早期パイロット噴射は燃焼室内の温度と圧力とを上昇させ、後述する近接パイロット噴射やメイン噴射の着火遅れ期間を短縮するため、メイン噴射による燃焼の騒音やNO_x生成を抑制することができる。

早期パイロット噴射は、比較的燃焼室内の温度圧力が低い時点で行われるため、噴射量が多い場合には噴射された燃料が液状のままシリンダ壁に到達して、潤滑油希釈などの問題を起こす。このため、噴射量が多い場合には早期パイロット噴射は必要とされる噴射量を分割して少量ずつ複数回に分けて噴射することによりシリンダ壁への液状燃料の到達を防止する。

(2) 近接パイロット噴射

近接パイロット噴射は、メイン噴射の直前（例えば、メイン噴射開始より20°CA以内）に行われるパイロット噴射である。近接パイロット噴射は、早期パイロット噴射に較べて炭化水素の発生が少なく、早期パイロット噴射と同様にメイン噴射の着火遅れ期間を短縮してメイン噴射の騒音やNO_x生成を抑制することができる。

(3) アフター噴射

アフター噴射は、メイン噴射終了直後、または比較的短い間隔（例えばメイン噴射終了後15°CA以内）に開始される噴射である。

アフター噴射は、メイン噴射の燃料の燃焼後期に再度燃焼室内の温度、圧力、乱れなどを増加させて燃焼を良好にすることと、メイン噴射の噴射量を減らすことを目的として行われる。

すなわち、メイン噴射の燃焼後期には燃焼室内の温度、圧力は低下し、筒内の乱れも小さくなっているため、燃料が燃焼しにくくなっている。この状態でアフター噴射を行うことにより、燃料の噴射による乱れの増大と噴射された燃料の燃焼による温度、圧力の増大が生じるため、燃焼室内の雰囲気は燃焼を促進する方向に改善される。また、アフター噴射の噴射量分だけメイン噴射の噴射量を減らすことができるため、メイン噴射燃料により生成される局所的な過濃領域の生成が抑制されるとともに、メイン噴射量の低下により燃焼による筒内最高温度が低下して、 NO_x の生成が抑制される効果がある。

(4) ポスト噴射

ポスト噴射は、メイン噴射終了後比較的間隔をあけて（例えばメイン噴射終了後 15°CA 以上）開始される燃料噴射である。ポスト噴射の主な目的は排気温度、圧力を上昇させることである。

例えば、排気系に配置した排気浄化触媒の温度が低く活性化温度に到達しないため排ガス浄化作用を得られないような場合には、ポスト噴射を行うことにより排気温度を上昇させて短時間で触媒温度を活性化温度まで上昇させることができる。また、ポスト噴射を行うことにより排気の温度、圧力が上昇するため、ターボチャージャを有する機関ではタービンの仕事を増大させて過給圧上昇による加速性能の向上や加速時のスモーク抑制などの効果を得ることができる。

また、排気浄化触媒として、HC成分を用いて排気中の NO_x を浄化する選択還元触媒を使用する場合には、ポスト噴射を行うこと

により触媒にH Cを供給してN O_xの浄化率を向上させることができる。

上記のようにマルチ燃料噴射を行うことにより、ディーゼル機関の排気性状や騒音を大幅に改善することが可能であるが、この改善効果を得るためにはマルチ燃料噴射における各燃料噴射の噴射量と噴射時期とを精密に制御する必要がある。例えば、最も噴射量と噴射時期との精度が要求される近接パイロット噴射では、1回の燃料噴射噴射量は1.5～2.5 mm³程度に、噴射時期は±2° C A以内程度に制御する必要がある。

ところが、前述したように、燃料噴射弁には公差による個体間のばらつきや、使用期間による燃料噴射特性の変化などが生じるため、通常のオープンループ制御では燃料噴射の精度を向上させることはできず、十分にマルチ燃料噴射による効果を得ることはできない。

また、例えば前述の特開2001-123871号公報の装置のように燃焼騒音に基づいて燃料噴射を制御しても、一部のパイロット噴射の噴射量は制御できるものの、各燃料噴射の噴射量を個別に制御することはできず、更に噴射時期については全く制御することができない問題がある。

本実施形態では、筒内圧センサ29a～29d（以下、「筒内圧センサ29」と総称する）を用いて検出した燃焼室内圧力Pとそのときの燃焼室容積Vとを用いて算出するパラメータP V'とP Vとを用いてそれぞれの燃料噴射の噴射量、噴射時期、噴射圧などを個別に正確に正確に制御することを可能としている。

図24（A）は、本実施形態における燃焼時期の検出原理を説明する図である。図24（A）は気筒の圧縮行程後期から膨張行程前記における燃焼室内の種々の燃焼に関連するパラメータのクランク

角 θ に対する変化を示している（クランク角 $\theta = 0$ は圧縮上死点を示す）。図 24（A）においてカーブ P は筒内圧センサ 29 で検出した実際の燃焼室内圧の変化を示す。又、カーブ Q は、筒内の熱発生率を示している。カーブ Q から判るように、本実施形態ではメイン噴射に加えて早期パイロット噴射とアフター噴射とを含むマルチ燃料噴射が行われており、図 24（A）の熱発生率の山 Q1、Q2、Q3 はそれぞれ早期パイロット噴射、メイン噴射、アフター噴射に相当している。

図 24（A）カーブ P から判るように、熱発生率 Q1、Q2、Q3 からはマルチ燃料噴射における各燃料噴射の燃焼期間を判別することができるものの、燃焼室内圧力の変化には各燃料噴射の燃焼期間は明確に現れておらず、カーブ P から各燃料噴射を判別することはできない。

一方、熱発生率を算出すれば一応図 24（A）に示すように各燃料噴射の燃焼期間を判別することは可能である。また、熱発生率 dQ 自体も燃焼室内圧力に基づいて次の計算式から算出することができる。

$$dQ / d\theta = (\kappa \cdot P \cdot (dV / d\theta) + V (dP / d\theta)) / (\kappa - 1)$$

（ θ はクランク角、 κ は筒内混合気の比熱比をそれぞれ表している）

ところが、この熱発生率の計算は複雑であり、しかもクランク角 θ を含む項を多く含むため、比較的検出精度の低いクランク角の誤差の影響を受けやすい。このため、実際の制御に熱発生率を制御指標として使用することは、計算負荷の増大と誤差との問題があり実際的ではない。

そこで、本実施形態では燃焼期間を検出するために熱発生率を用

いずに、筒内圧センサ 29 で検出した圧力 P とそのときの体積 V を γ 乗して得た値 $P V^\gamma$ のクランク角 θ に対する一次変化率（一次微分値）（以下「 $P V^\gamma$ 微分値」という）を用いる。ここで、 γ はポリトロプ指数である。

ポリトロプ指数 γ は予め実験などにより求めておくことができ、更に V は θ のみの関数となるため、各 θ の値に対して V^γ を予め算出しておくことも可能である。従って、各クランク角において $P V^\gamma$ 値は簡易な計算で算出することができ、その θ に対する変化率である $P V^\gamma$ 微分値は、後述するように簡単な差分計算で求めることができる。

図 24 (A) のカーブ R は、各クランク角において算出した $P V^\gamma$ 微分値を示す。 $P V^\gamma$ の微分値は熱発生率パターンと相似形になるので、カーブ R に示すように、 $P V^\gamma$ 微分値の値は大部分 0 となり、燃焼期間に相当する部分のみ正の値となるため、極めて明確に各燃料噴射の燃焼期間を判別することが可能となる。

気筒内のピストンの移動による圧縮を指数 γ のポリトロプ変化で近似すると、圧力 P と燃焼室容積 V とは、 $P V^\gamma = C$ （一定値）の関係を有する。すなわち、燃焼が生じず、気筒内のガスに圧縮による仕事以外のエネルギーが付与されないポリトロプ変化では、 $P V^\gamma$ 値は常に一定となる。このため、燃焼室内で燃焼が生じていない場合には、 $P V^\gamma$ 値のクランク角による一次微分値 $d(P V^\gamma) / d\theta$ の値は 0 になる（実際には、シリンダ壁からの放熱があるため、一次微分値 $d(P V^\gamma) / d\theta$ の値は燃焼が生じていない場合には負になる）。

一方、気筒内で燃焼が生じると気筒内のガスには圧縮による仕事以外にエネルギー（熱）が加えられるため、気筒内のガスの変化はもはやポリトロプ変化ではなくなり、 $P V^\gamma$ 値は燃焼が生じている

間増大を続けるため、 $P \cdot V$ 微分値は正の値をとるようになる。

このため、燃焼室内で燃焼が生じている期間は、 $P \cdot V$ 微分値が正になる期間として明確に判別することができる。これは、図 24 (A) カーブ R に示すように、気筒の 1 行程サイクルに複数回の燃料噴射（燃焼） Q_1 、 Q_2 、 Q_3 が行われる場合も同様である。

本実施形態では、機関運転中に筒内圧センサ 29 で検出した各気筒の燃焼室内圧力に基づいて $P \cdot V$ 微分値を算出し、この $P \cdot V$ 微分値が正の値になっている期間を燃焼期間と判定する。図 24 (A) カーブ R に *start* で示すのは燃焼開始時期、*end* で示すのは燃焼終了時期であり、*start* と *end* との間が燃焼期間を表す。

ところで、燃焼期間の開始時期（クランク角）は燃料噴射時期と強い相関がある。更に、燃焼期間の長さ（燃焼開始時期から終了時期までの長さ）は燃料噴射期間と強い相関がある。又、燃料噴射期間は燃料噴射量が一定であれば噴射率により変化し、噴射率は燃料噴射圧によって変化する。

本実施形態では、機関の運転条件（例えば機関回転数とアクセル開度、及びマルチ燃料噴射の種類との組み合わせ）毎に最適な燃焼状態を与える各燃料噴射の発熱量、燃焼期間を予め実験などにより求めてあり、例えば、マルチ燃料噴射の各燃料噴射毎（早期パイロット噴射、近接パイロット噴射、メイン噴射、アフター噴射、ポスト噴射）に上記最適値をそれぞれ機関回転数とアクセル開度とを用いた数値テーブルとして、ECU 20 の ROM に格納してある。

ECU 20 は、筒内圧センサ 29 で検出した各気筒の燃焼室内圧力 P に基づいて各クランク角における $P \cdot V$ 微分値を算出して、各噴射の実際の燃焼期間を判別するとともに、この実際の燃焼期間（開始時期、長さ）が ROM に記憶した、現在の機関運転状態に最適

な燃焼期間になるように、燃料噴射時期と噴射圧とをフィードバック制御する。これにより、簡易かつ正確に各気筒の燃料噴射時期と噴射圧とが最適な燃焼時期を得る値に制御されるようになる。

次に、本実施形態における燃料噴射量の制御について図 24 (B) を用いて説明する。

各気筒の実際の燃料噴射量は、気筒の圧縮行程から膨張行程にかけての気筒内の発熱量に対応している。この発熱量は、前述の式を用いて算出される熱発生率を積分することによっても算出可能であるが、前述したように熱発生率 dQ を用いた計算は实际的ではない。

そこで、本実施形態では燃焼室内圧力 P とそのときの燃焼室内容積 V との積 $P V$ (以下「 $P V$ 値」という) を用いて実際の筒内発熱量を算出する。

燃焼室内の気体の有するエネルギーは圧力と容積との積 $P V$ で表される。このため、単位クランク角あたりに燃焼室内の気体に与えられるエネルギーは、 $d(P V) / d\theta$ で表される。

前述したように、燃焼室内の気体に単位クランク角あたりに与えられるエネルギーは、ピストンの圧縮による機械的エネルギーと燃焼により発生する化学的エネルギーの和となる。

いま、気体の状態方程式 $P V = (m / W) R T$ を微分形式にして

$$d(P V) = (m / W) R dT \quad \cdots (1)$$

を得る。ここで、 m は燃焼室内の気体の質量 (kg)、 W は気体の分子量、 T は温度 (K)、 R は一般ガス定数 ($J / mol \cdot K$) である。

又、(1) 式は気体の有するエネルギーの変化量を表しており、この変化量は、上記したように、ピストンの圧縮による機械的エネ

ルギー $d(PV)_{pist}$ と燃焼により発生する化学的エネルギー $d(PV)_{chem}$ との和として表される。すなわち、

$$d(PV) = d(PV)_{pist} + d(PV)_{chem} \quad \dots (2)$$

上記 (2) 式中、燃焼により気体に与えられるエネルギー $d(PV)_{chem}$ は、上記 (1) の気体の状態方程式を用いて、以下のように表される。

$$d(PV)_{chem} = (m/W) R dT_{chem} \quad \dots (3)$$

ここで、 dT_{chem} は、燃焼による気体の温度上昇である。

(3) 式を (2) 式に代入して dT_{chem} を求めると、

$$dT_{chem} = (W/m \cdot R) (d(PV) - d(PV)_{pist}) \quad \dots (4)$$

となる。燃焼による発熱量 dQ (J) は温度上昇 dT_{chem} (K) と気体質量 m (kg) と定容比熱 (J/mol · K) C_v との積として求められるため、(4) 式から、

$$\begin{aligned} dQ &= m \cdot C_v \cdot dT_{chem} \\ &= C_v \cdot W \cdot R (d(PV) - d(PV)_{pist}) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

噴射毎の発生熱量 ΔQ は、図 24 (A) で噴射毎の燃焼期間が判っているのであるから、(5) 式を各燃料噴射の燃焼開始 (start) から燃焼終了 (end) まで積分することにより求められる。

すなわち

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{C_v \times W}{R} \int_{start}^{end} (d(PV) - d(PV)_{pist}) d\theta \\ &= \frac{C_v \times W}{R} (((PV)_{end} - (PV)_{start}) - ((PV)_{pist,end} - (PV)_{pist,start})) \\ &\quad \dots (6) \end{aligned}$$

ここで、 $(P V)_{end}$ 、 $(P V)_{start}$ は、それぞれ筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力 P と燃焼室容積 V との積の、燃焼終了時と燃焼開始時の値である。

また $(P V)_{pist, end}$ 、 $(P V)_{pist, start}$ は、燃焼が生じなかった場合のピストン圧縮のみの場合（いわゆるモータリング時）の燃焼室内圧力と燃焼室容積 V との積の、燃焼終了時（図24（A）、図24（B）、 end ）と燃焼開始時（図24（A）、図24（B）、 $start$ ）に相当するクランク角における値である。

図24（B）は、図24（A）の場合の $P V$ 値の変化と、 $(P V)_{pist}$ 値の変化を示す図であり、図24（B）のカーブ P は図24（A）のカーブ P と同じ燃焼室内圧力変化を、カーブ Q は熱発生率を、それぞれ表している。

また図24（B）のカーブ S は、カーブ P の圧力変化時の $P V$ 値を、カーブ T は $(P V)_{pist}$ 値を、それぞれ表している。 $(P V)_{pist}$ 値は、機関が定まれば常に一定のカーブとなる。

さて、上記（6）式から、例えばメイン噴射 Q_1 の発熱量 ΔQ は、図24（B）のA点における $P V$ 値（ $(P V)_{start}$ ）と $(P V)_{pist}$ 値（ $(P V)_{pist, start}$ ）とB点における $P V$ 値（ $(P V)_{end}$ ）と $(P V)_{pist}$ 値（ $(P V)_{pist, end}$ ）とを用いて簡単に求めることができる。

発熱量 ΔQ は燃料噴射量と強い相関を有する。本実施形態では、予め機関運転状態に応じて各噴射の理想的な発熱量が実験などにより求めてあり、ECU30のROMに格納されている。このため、（6）式から求めた実際の発熱量が、ROMに記憶した理想的な発熱量と一致するように燃料噴射量をフィードバック補正することにより、燃料噴射量を最適な値に制御することが可能となる。

図 2 5 は、上述した燃焼時期と発熱量との実際の算出操作を示すフローチャートである。本操作は、E C U 2 0 により一定クランク角毎に実行される。

図 2 5 において、ステップ 4 0 1 では現在のクランク角 θ と、筒内圧センサ 2 9 で検出した燃焼室内圧力 P とが読み込まれる。そして、ステップ 4 0 3 では、クランク角 θ に基づいて現在の燃焼室内容積 V が算出される。本実施形態では、 θ と V との関係は予め計算により求められ、 θ を用いた 1 次元数値テーブルとして E C U 2 0 の R O M に格納されている。ステップ 4 0 3 では、ステップ 4 0 1 で読み込んだ θ の値を用いてこの数値テーブルから燃焼室内容積 V を求める。

次いでステップ 4 0 5 では、ステップ 4 0 1 で読み込んだ圧力 P とステップ 4 0 3 で算出した容積 V とを用いて $P V^\gamma$ が算出される。 γ (ポリトロップ指数) は予め実験により求められ、E C U 2 0 の R O M に格納されている。

ステップ 4 0 7 は $P V^\gamma$ 微分値の算出操作を示す。本実施形態では、 $P V^\gamma$ 微分値 $d(P V^\gamma) / d \theta$ は、今回算出した $P V^\gamma$ 値 ($P V^\gamma$)_i と、前回本操作実行時に算出した ($P V^\gamma$)_{i-1} との差分として算出される。

次に、ステップ 4 0 9 から 4 1 7 は燃焼開始時期の検出を示す。

ステップ 4 0 9 ではフラグ X S の値が 1 にセットされているか否かが判定される。フラグ X S は、燃焼期間の開始時期の検出が完了したか否かを示すフラグであり、X S = 1 は検出完了を表している。

ステップ 4 0 9 で検出が完了していない場合 ($X \neq 1$) にはステップ 4 1 1 に進み、ステップ 4 0 7 で算出した $P V^\gamma$ 微分値が所定値 C 1 以上になるまでステップ 4 1 3 以下の操作実行を保留して待

機する。前述のように、 PV' 微分値は燃焼期間以外は略ゼロの値となり、燃焼期間中のみ正の値となる。 $C1$ は、雑音などによる誤検出を防止するための判定値であり、できるだけゼロに近い正の値に設定される。燃焼が開始されると、ステップ411では PV' 微分値が $C1$ より大きくなるが、ステップ411で最初に $d(PV')/d\theta > C1$ が成立すると、次にステップ413でフラグ XS の値が1に設定されるため、次回からはステップ411から417は実行されない。

これにより、燃焼開始時期が正確に検出されるようになる。すなわち、ステップ411で最初に $d(PV')/d\theta > C1$ が成立すると、ステップ415、417ではそのときのクランク角 θ を燃焼開始時のクランク角 θ_{start} として記憶するとともに、このときの PV 値を算出して、燃焼開始時の PV 値 $(PV)_{start}$ として記憶する。又、ステップ419ではモータリング中の PV 値である $(PV)_{pist}$ の燃焼開始時の値を予め算出しておいた、図24(B)のカーブTの関係から求め、 $(PV)_{pist, start}$ として記憶する。

ステップ419から425は、燃焼期間の終了時期の検出操作を示す。終了時期の検出操作は、ステップ411から417の燃焼期間開始時期の検出が完了して、 XS が1にセットされた場合にのみ行われる。

ステップ419から425の操作はステップ411から417の操作と同様であるが、ステップ419で $d(PV')/d\theta < C1$ となったときのクランク角を燃焼終了時期 θ_{end} 、そのときの (PV) 、 $(PV)_{pist}$ の値をそれぞれ $(PV)_{end}$ 、 $(PV)_{pist, end}$ として記憶する点が相違している。そして、上記の値を記憶した後、ステップ425ではフラグ XS の値が0にリ

セットされる。これにより、再度ステップ 4 1 1 から 4 1 7 で燃焼開始時期が検出されるまではステップ 4 1 9 以下のステップは実行されなくなる。

そして、上記の操作終了後、ステップ 4 2 7 では前述の (6) 式を用いて、今回の燃焼期間における発熱量 ΔQ が算出される。

上述のように、図 2 5 の操作を実行することにより、複数の燃料噴射のそれぞれについて、燃焼開始時期 θ_{start} 、燃焼終了時期 θ_{end} 、及び発熱量 ΔQ が算出され、記憶される。

次に、上記により算出した燃焼開始時期 θ_{start} 、燃焼終了時期 θ_{end} 、及び発熱量 ΔQ を用いた燃料噴射制御について説明する。

本実施形態では、燃料噴射量、噴射時期、燃料噴射圧の基本値、及び噴射の形態（マルチ燃料噴射のタイプ）は、ECU 20 により別途実行される図示しない燃料噴射設定操作により、機関回転数とアクセル開度とを用いて予め定めた関係に基づいて設定されている。本来この基本値の通りに実際の燃料噴射が行われれば、機関の燃焼状態は最適になる。しかし、実際には燃料噴射弁の噴射特性のばらつきや変化等により、基本値に相当する指令信号を燃料噴射弁に与えても実際の燃料噴射が基本値通りにはならない。

本実施形態では、燃焼開始時期 θ_{start} 、燃焼終了時期 θ_{end} 、及び発熱量 ΔQ を用いて、実際の燃料噴射が基本値で行われるように燃料噴射をフィードバック補正するものである。

図 2 6 は、ECU 20 により行われる、本実施形態の燃料噴射補正操作の手順を説明するフローチャートである。

図 2 6、ステップ 5 0 1 では、まず補正しようとする燃料噴射の判別が、機関運転条件と算出した θ_{start} とに基づいて行われる。すなわち、いま補正しようとしている燃料噴射が、どのタイプ

のマルチ燃料噴射のどの燃料噴射（例えば早期パイロット噴射か、近接パイロット噴射か等）であるかの判定が行われる。

そして、ステップ503では、現在補正しようとしている燃料噴射の発熱量の目標値が、機関運転条件（機関回転数、アクセル開度）に基づいて予めECU20のROMに記憶した数値テーブルから読み出される。

そして、ステップ505では、前述の図25の操作で算出した発熱量 ΔQ が、ステップ503で設定した目標値に一致するように燃料噴射量が増減補正される。すなわち、実際の発熱量 ΔQ が目標値より小さい場合には、燃料噴射量が所定量増大され、目標値より大きい場合には所定量低減される。

そして、ステップ507では同様に機関運転条件に基づいて予めECU20のROMに記憶した数値テーブルから、燃焼開始時期と終了時期との目標値が読み出され、ステップ509では、実際の燃焼開始時期 θ_{start} が目標値に一致するように燃料噴射時期が補正される。例えば燃焼開始時期が目標値より遅い場合には燃料噴射開始時期が進角され、早い場合には遅角される。

更に、ステップ511では、燃料噴射圧が補正される。本実施形態ではコモンレール圧力を変えることにより燃料噴射圧が調整される。すなわち、ステップ511では、ステップ509で燃焼開始時期 θ_{start} が目標値に一致した状態で、実際の燃焼終了時期 θ_{end} が目標値より遅いか早いかを判定し、遅い場合（実際の燃焼期間が目標値より長い場合）には、燃料噴射圧を所定量だけ上昇させて、その分だけ燃料噴射の終了時期（燃料噴射弁の閉弁時期）を進角させ燃料噴射量を一定に維持しながら燃料噴射期間を変化させる。また、逆に実際の燃焼終了時期が目標値より早い場合には、燃料噴射圧を所定量だけ低下させて燃料噴射の終了時期を遅角させる。

。 上記各操作を、それぞれの値が目標値と一致するまで繰り返すことによりマルチ燃料噴射の各燃料噴射における実際の燃料噴射量、燃料噴射時期、燃料噴射圧が運転状態に応じた最適な燃焼を得る値になるようにフィードバック補正される。

上述したように、図 25 の操作では、簡易な差分演算で算出可能な $P \cdot V'$ の微分値を用いて燃焼期間を、また、 $P \cdot V$ 値の簡易な演算で発熱量を求めることが可能となり、発熱量や燃焼期間の検出のために複雑な計算を行う必要がなくなる。このため、ECU 20 の計算負荷が増大することが防止され、簡易かつ確実に各噴射毎の発熱量と燃焼期間とを正確に検出することができ、各噴射の噴射量、噴射時期、噴射圧を正確にフィードバック制御することが可能となる。

また、本実施形態ではマルチ燃料噴射の各噴射量と噴射時期、噴射圧とが実際の発熱量、燃焼期間に基づいてフィードバック制御されるため、例えば燃料噴射弁の公差による燃料噴射特性の個体間ばらつきが比較的大きい場合や、或いは使用とともに燃料噴射特性が変化するような場合であっても各燃料噴射特性を正確に補正することが可能となる。このため、コモンレール式燃料噴射装置においても、燃料噴射弁の特性のばらつきをある程度許容することができ、従来のように燃料噴射弁の特性のばらつきを厳しく管理する必要がなくなるため、燃料噴射弁のコストを低減することが可能となる。

上述のように、本発明によれば、噴射モードや燃焼モードに応じて最適な燃焼パラメータを使用して燃料噴射量、噴射時期、EGR ガス量のフィードバック制御を行うことにより、制御回路の演算負荷を大幅に増大することなくディーゼル機関の燃焼状態を最適に制御することが可能となる。

請 求 の 範 囲

1. 機関燃焼室に燃料を噴射する燃料噴射弁と、
機関排気の一部をEGRガスとして機関燃焼室に還流させるEGR装置と、

機関燃焼室内の圧力を検出する筒内圧センサとを備えた内燃機関の制御装置であって、

前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力と機関クランク角とを用いて予め定めた関係に基づいて、筒内発熱量と、燃焼開始時期と、燃焼期間との少なくとも一つを含む機関燃焼状態を表す燃焼パラメータを算出する燃焼パラメータ算出手段と、

算出された燃焼パラメータが機関運転状態に応じて予め定められた目標値になるように、燃料噴射量、燃料噴射時期、EGRガス量のいずれか1つ以上を補正する補正手段と、を備え、

前記燃焼パラメータとして、燃焼室内圧力と機関クランク角とに基づいて算出される、前記機関燃焼状態を表す複数種類の燃焼パラメータの中から、機関の燃料噴射モードもしくは燃焼モードに応じて選択した燃焼パラメータを用いて前記補正手段による補正を行う

、
内燃機関の制御装置。

2. 前記燃料噴射モードは、主燃料噴射と、主燃料噴射の前または後、若しくは前と後との両方に機関燃焼室に燃料を噴射するマルチ燃料噴射と、を必要に応じて組み合わせた燃料噴射モードを含む、請求項1に記載の内燃機関の制御装置。

3. 前記噴射補正手段は、まず燃焼室への総燃料噴射量と主燃料噴射時期の補正を行い、マルチ燃料噴射が行われている場合には、主燃料噴射が補正された状態で前記マルチ燃料噴射の燃料噴射量ま

たは燃料噴射時期を補正する、請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置。

4. 更に、予め定めたクランク角において前記筒内圧センサで検出した実際の燃焼室内圧力に基づいて前記筒内圧センサ出力の誤差を修正するセンサ較正手段を備えた、請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置。

5. 前記機関運転状態は、機関回転数とアクセル開度とにより規定される、請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の内燃機関の制御装置。

6. 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値と燃焼室内圧力が最大になるクランク角とである、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

7. 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼室内圧力の変化率が極大になるクランク角である、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

8. 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼室内圧力の 2 階微分値が極大になるクランク角である、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

9. 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値と燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積が最大になるクランク角とである、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

10. 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値と、燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積が最大になるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積との差 $\Delta P V_{max}$ である、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 1 . 前記選択された燃焼パラメータは、筒内熱発生率が最大になるクランク角である、請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 2 . 前記選択された燃焼パラメータは、筒内総発熱量である請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 3 . 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼開始後の筒内圧の最大値と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の筒内最小圧力との差である請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 4 . 前記選択された燃焼パラメータは、燃焼開始後の筒内圧の最大値と、前記筒内圧が最大になるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力との差である請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 5 . 前記マルチ燃料噴射は、主燃料噴射に先立って行われるパイロット燃料噴射を含み、前記補正手段は燃焼パラメータとして、主燃料噴射により噴射された燃料に着火が生じるときの燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積と、主燃料噴射により噴射された燃料に着火が生じるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積との差を用いてパイロット燃料噴射指令値を補正する請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

1 6 . 前記マルチ燃料噴射は、主燃料噴射の後に行われるアフター噴射を含み、前記補正手段は燃焼パラメータとして、燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積の最大値と、燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積が最大になるクランク角において、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積との差 $\Delta P V_{max}$ と、アフター噴射により噴射された燃料に着火が生じるときの燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積と、アフター噴射により噴射された燃料に着火が生じるクランク角において

、燃焼が生じなかったと仮定した場合の圧縮のみによる燃焼室内圧力と燃焼室内実容積との積との差 $\Delta P V_{after}$ との差($\Delta P V_{max} - \Delta P V_{after}$)を用いてアフター噴射指令値を補正する請求項5に記載の内燃機関の制御装置。

17. 前記補正手段は、前記燃焼パラメータとして燃焼開始後の燃焼室内圧力の最大値と燃焼室内圧力が最大になるクランク角とを用いた前記補正を主燃料噴射についてのみ行う、請求項6に記載の内燃機関の制御装置。

18. 更に、機関吸入空気量を絞るスロットル弁を備え、前記噴射補正手段は、主燃料噴射量を補正した後、燃焼パラメータとして圧縮上死点における圧縮による燃焼室内圧力と圧縮上死点後燃焼室内で燃焼が開始されるまでの間の筒内最小圧力との差と、燃焼開始後の燃焼室内圧力最大値との2つを用いて、これら2つの燃焼パラメータの値がそれぞれの目標値と一致するように前記スロットル弁開度と、主燃料噴射時期とを補正する、請求項5に記載の内燃機関の制御装置。

19. 前記機関は、圧縮行程後期に燃料噴射を行い空気過剰率の大きい燃焼を行う通常燃焼モードと、通常燃焼モードより燃料噴射時期を進角し、かつEGRガス量を増大した低温燃焼モードとを切り換えて運転可能であり、前記噴射補正手段は前記通常燃焼モードと低温燃焼モードとの間のモード切替時に、前記2つの燃焼パラメータの値がそれぞれの目標値と一致するように前記スロットル弁開度と、主燃料噴射時期とを補正する請求項18に記載の内燃機関の制御装置。

20. 前記機関の燃焼モードは、燃焼室へのEGRガス供給量の異なるモードを含む、請求項1に記載の内燃機関の制御装置。

21. 前記選択された燃焼パラメータは、前記筒内圧センサで検

出した燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V との積 $P V$ の値に基づいて算出される、燃料噴射弁からの燃料噴射開始後前記 $P V$ の値が最大値 $P V_{max}$ をとるまでの時間 Δt であり、前記補正手段は、前記 Δt が予め定めた目標値になるように前記 EGR ガス量を調節する、請求項 20 に記載の内燃機関の制御装置。

22. 更に、前記燃焼パラメータ算出手段は更に、燃焼室内で燃焼が生じなかったと仮定した場合のピストンの圧縮のみにより生じる燃焼室内圧力とクランク角から定まる燃焼室容積との積 $P V_{base}$ を算出し、前記 $P V$ が最大値 $P V_{max}$ となるクランク角 θ_{pvmax} における $P V_{base}$ の値を用いて、 $P V_{max}$ と $P V_{base}$ との差 $\Delta P V_{max}$ を算出し、前記補正手段は更に、 $\Delta P V_{max}$ と前記 θ_{pvmax} との値がそれぞれ予め定めた目標値になるように前記燃料噴射弁からの燃料噴射量と燃料噴射時期とを制御する、請求項 21 に記載の内燃機関の制御装置。

23. 前記目標値は、機関回転数とアクセル開度とに応じて定められる、請求項 21 または請求項 22 に記載の内燃機関の制御装置。

24. 前記内燃機関は、圧縮着火機関である請求項 23 に記載の内燃機関の制御装置。

25. 前記機関は、圧縮行程後期に燃料噴射を行い空気過剰率の大きい燃焼を行う通常燃焼モードと、通常燃焼モードより燃料噴射時期を進角し、かつ EGR ガス量を増大した低温燃焼モードとの 2 つの燃焼モードを切り換えて運転可能であるとともに、前記 Δt の値に基づく EGR ガス量制御を機関の前記低温燃焼モード運転時に行う、請求項 24 に記載の内燃機関の制御装置。

26. 前記補正手段は更に、前記通常燃焼モードから低温燃焼モ

ードへの切り換え時には、燃料噴射時期を通常燃焼モードにおける噴射時期から低温燃焼モードにおける目標燃料噴射時期に所定の移行時間をかけて連続的に変化させるとともに、該移行期間中は、実際の燃料噴射時期に代えて切り換え後の低温燃焼モードにおける目標燃料噴射時期を用いて算出した Δt の値に基づいて前記EGRガス量制御を行う、請求項25に記載の内燃機関の制御装置。

27. 前記選択された燃焼パラメータは、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V と、燃焼ガスの比熱比 κ とから算出される $P V^\kappa$ の値に基づいて定まる、燃料噴射弁からの燃料噴射開始後前記 $P V^\kappa$ の値が最小値 $P V^\kappa_{min}$ をとるまでの時間 Δt_d であり、前記補正手段は、前記 Δt_d が予め定めた目標値になるように前記EGRガス量を補正する、請求項20に記載の内燃機関の制御装置。

28. 前記選択された燃焼パラメータは、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V と、燃焼ガスの比熱比 κ とから算出される $P V^\kappa$ の値に基づいて定まる、燃料噴射弁からの燃料噴射開始後前記 $P V^\kappa$ の値が最小値 $P V^\kappa_{min}$ をとってから最大値 $P V^\kappa_{max}$ をとるまでの時間 Δt_c であり、前記補正手段は、前記 Δt_c が予め定めた目標値になるように前記EGRガス量を調節する、請求項20に記載の内燃機関の制御装置。

29. 前記燃料噴射弁は、主燃料噴射に先立って少量の燃料を燃焼室内に噴射するパイロット噴射を行い、前記燃焼パラメータ算出手段は、前記 $P V^\kappa_{min}$ の値の検出を主燃料噴射開始後に開始する、請求項27または請求項28に記載の内燃機関の制御装置。

30. 前記選択された燃焼パラメータは、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力 P と、クランク角 θ から定まる燃焼室容積 V と

、予め定めた定数 γ とを用いて、 V の γ 乗と P との積として算出されるパラメータ $P V^\gamma$ のクランク角 θ に対する変化率 $d(P V^\gamma) / d \theta$ であり、前記補正手段は、前記変化率に基づいて燃焼室内での燃焼開始時期と終了時期とを含む燃焼期間を検出するとともに、前記燃焼期間が予め定めた期間に一致するように、前記燃料噴射弁からの燃料噴射時期と燃料噴射圧との少なくとも一方を補正する、請求項1に記載の内燃機関の制御装置。

31. 更に、前記補正手段は、前記燃焼開始時期と前記燃焼終了時期とにおける前記燃焼室内圧力 P と前記燃焼室容積 V との積として算出されるパラメータ $P V$ の値に基づいて前記燃焼期間における筒内発熱量を算出するとともに、算出した筒内発熱量が予め定めた値になるように前記燃料噴射弁からの燃料噴射量を補正する、請求項30に記載の内燃機関の制御装置。

32. 前記機関は、主燃料噴射に加えて、主燃料噴射の前または後、若しくは前と後との両方に機関燃焼室に燃料を噴射するマルチ燃料噴射を行い、前記補正手段は、マルチ燃料噴射における少なくとも1つ以上の燃料噴射に対して前記 $d(P V^\gamma) / d \theta$ の値に基づく燃料噴射時期または燃料噴射圧の補正と、前記 $P V$ の値に基づく燃料噴射量の補正を行う、請求項31に記載の内燃機関の制御装置。

Fig.1

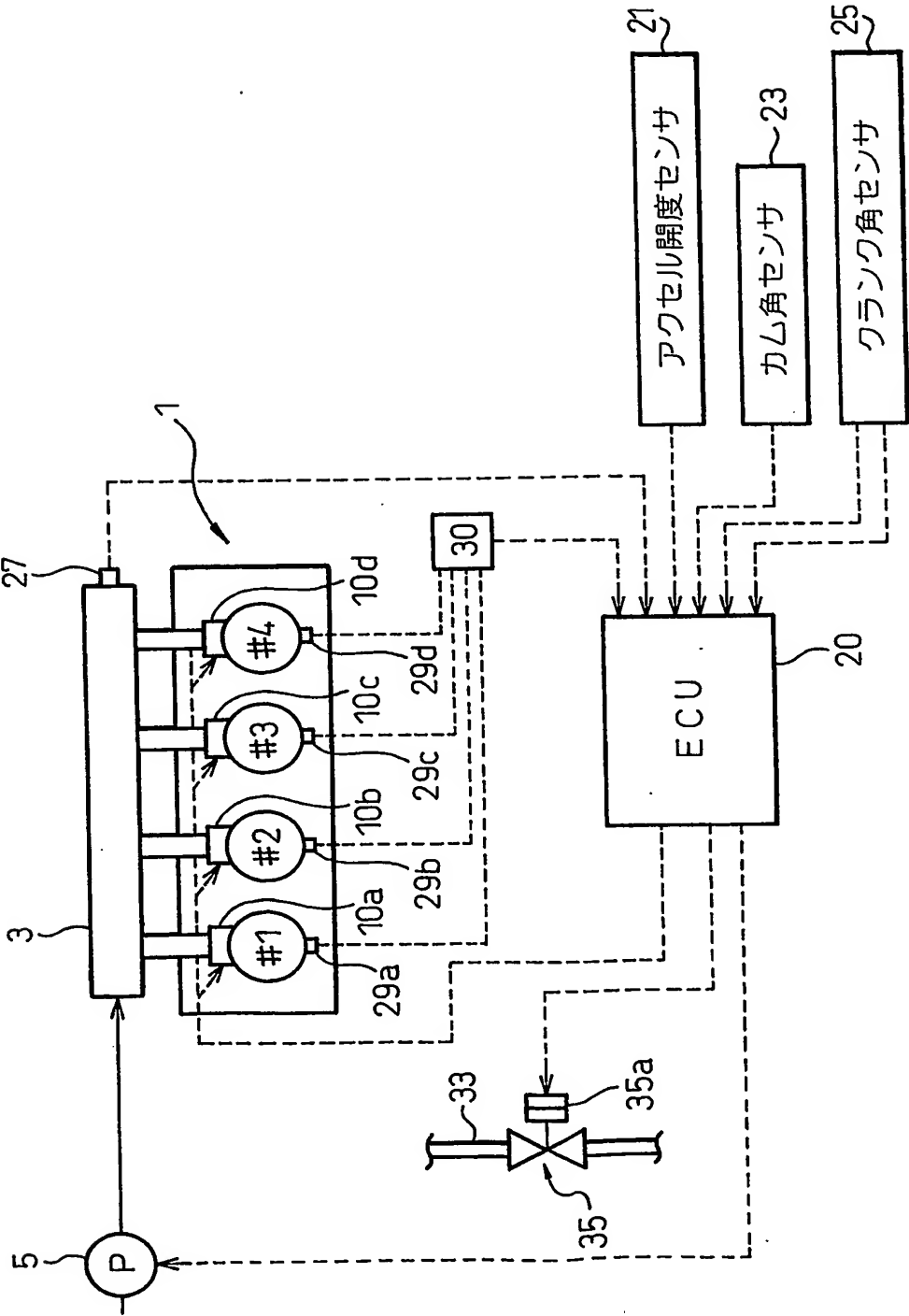


Fig. 2

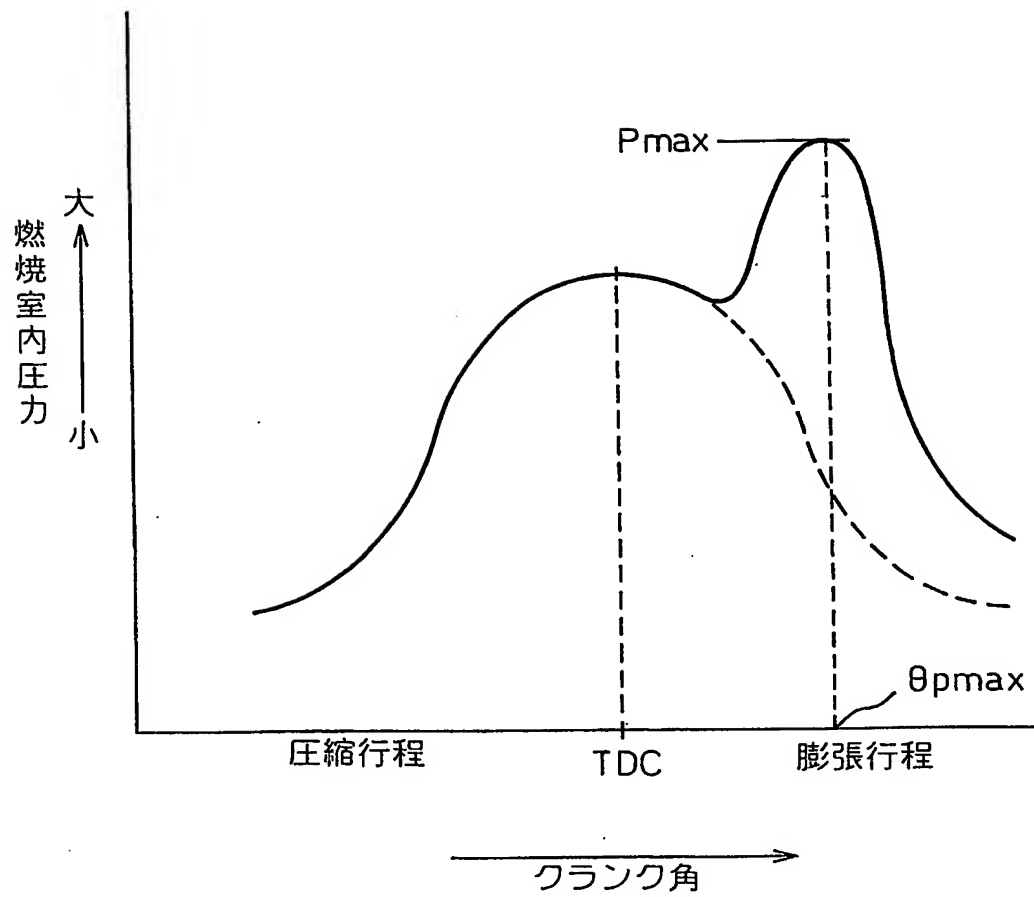


Fig.3

燃焼パラメータ 噴射モード	$(dP/d\theta)_{\max}$	$(dP/d\theta)_{NO.2\max}$	$(dP/d\theta)_{NO.3\max}$
主燃料噴射のみ	主燃料噴射 噴射時期	—	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	—
主燃料噴射 + アフター噴射	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射 + アフター噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期

Fig.4

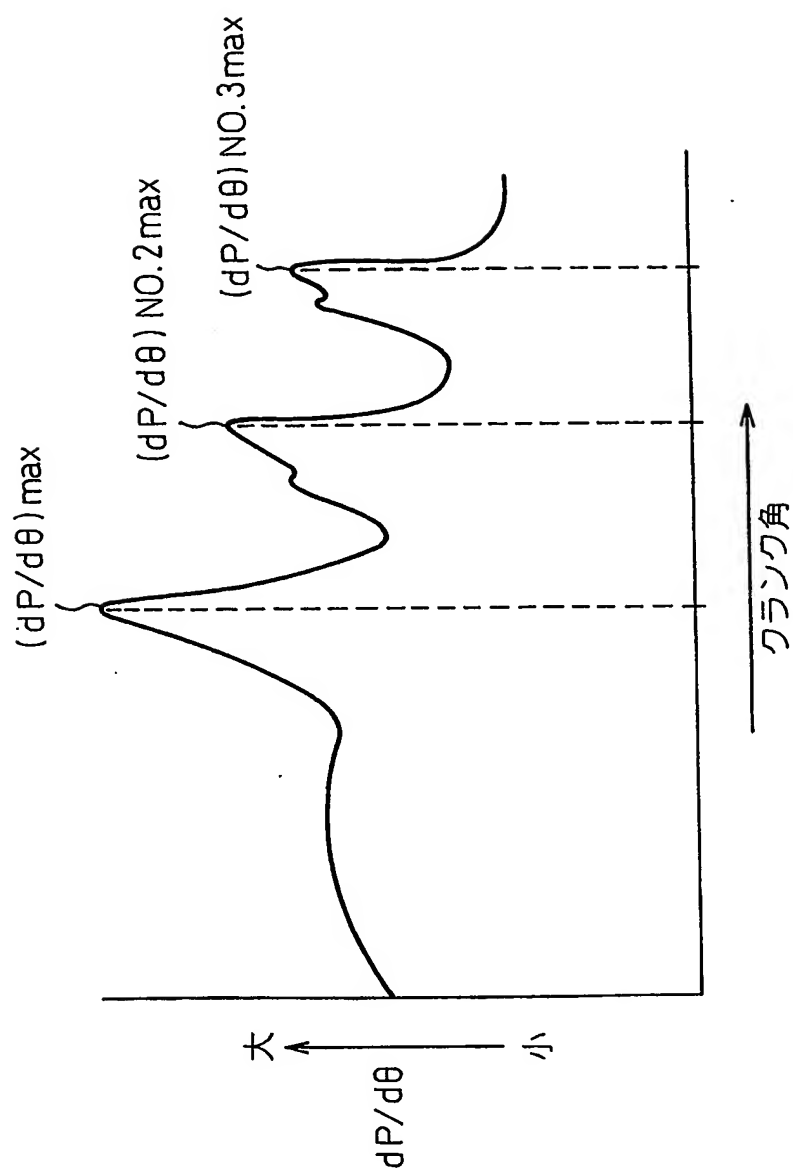


Fig.5

燃焼パラメータ 噴射モード	(d2P/dθ2)max	(d2P/dθ2)NO.2max	(d2P/dθ2)NO.3max
主燃料噴射のみ	主燃料噴射 噴射時期	—	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	—
主燃料噴射 + アフター噴射	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射 + アフター噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期

Fig. 6

燃焼パラメータ 噴射モード	$(dQ/d\theta)_{\max}$	$(dQ/d\theta)_{NO.2\max}$	$(dQ/d\theta)_{NO.3\max}$
主燃料噴射のみ	主燃料噴射 噴射時期	—	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	—
主燃料噴射 + アフター噴射	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期	—
パイロット噴射 + 主燃料噴射 + アフター噴射	パイロット噴射 噴射時期	主燃料噴射 噴射時期	アフター噴射 噴射時期

Fig.7

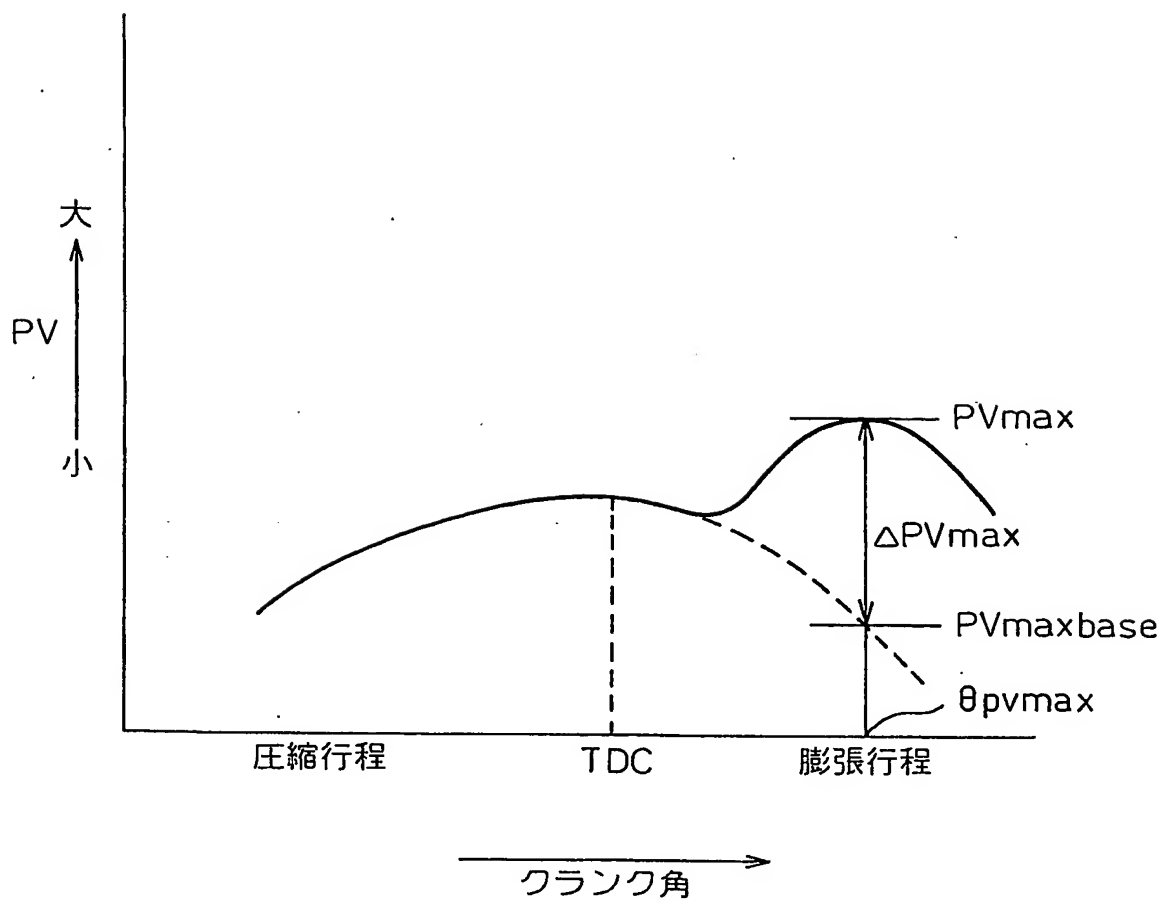


Fig. 8

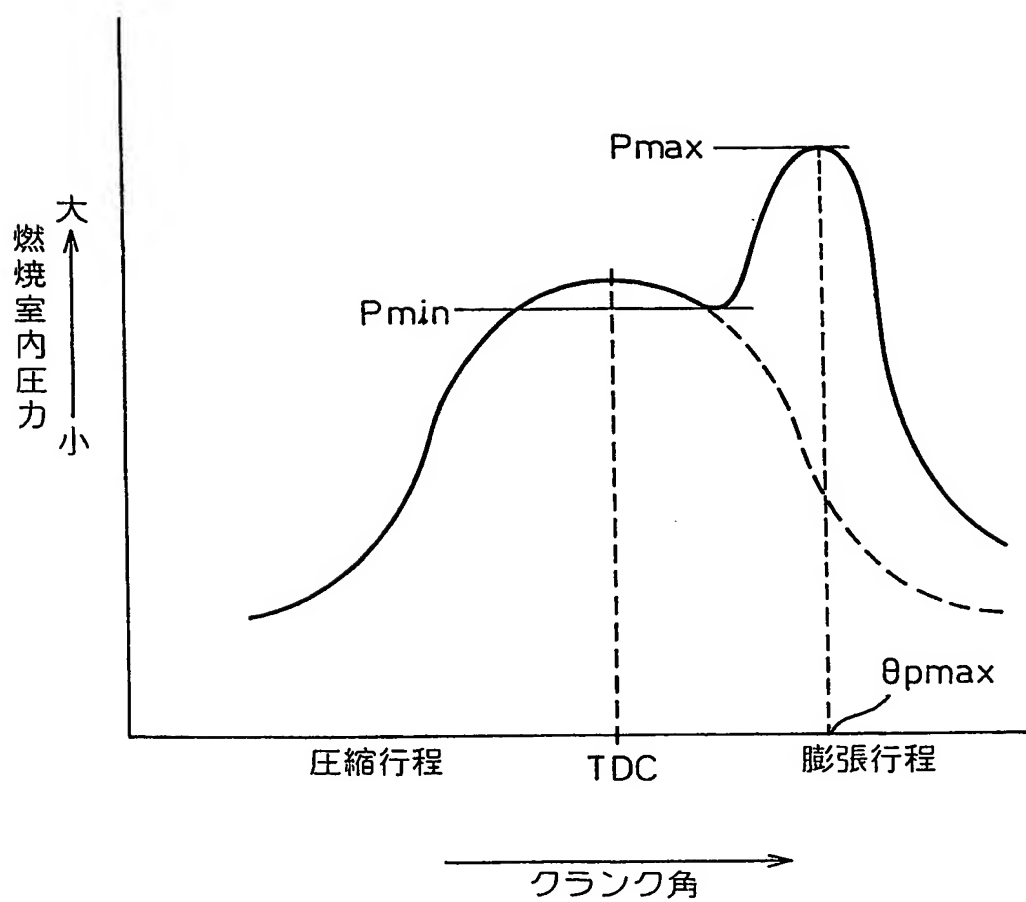


Fig.9

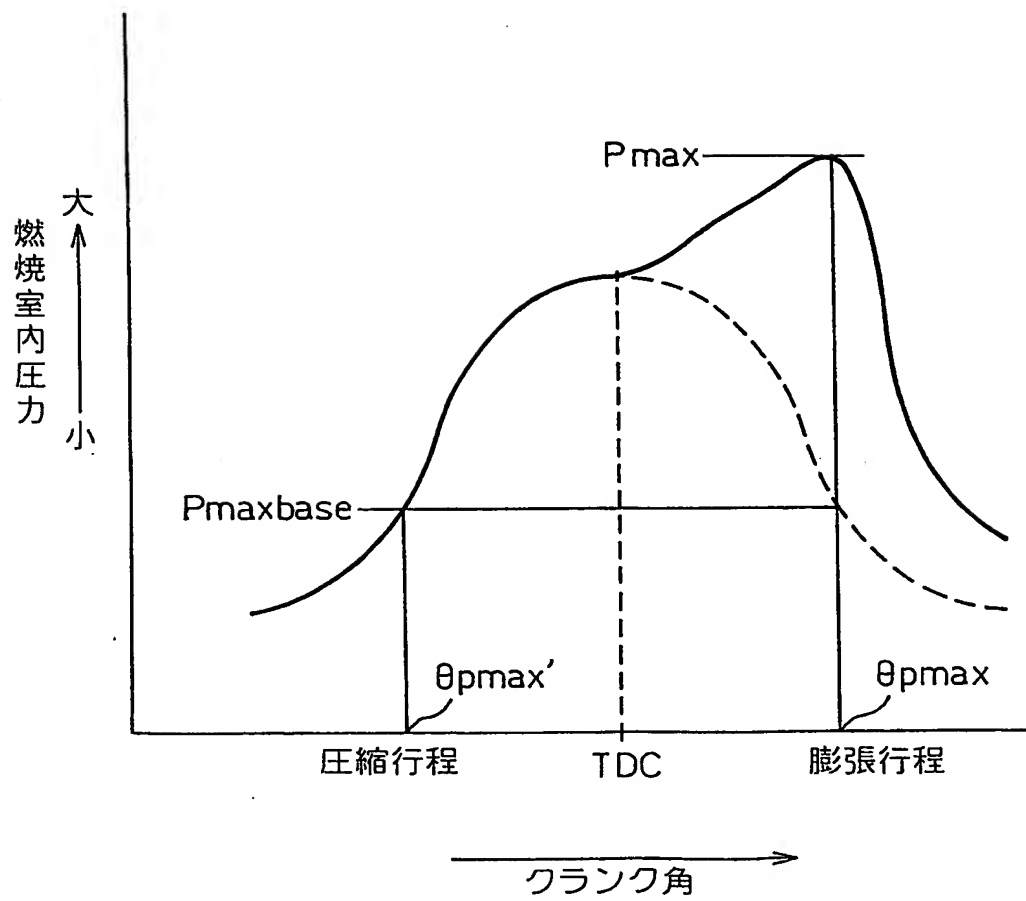


Fig.10

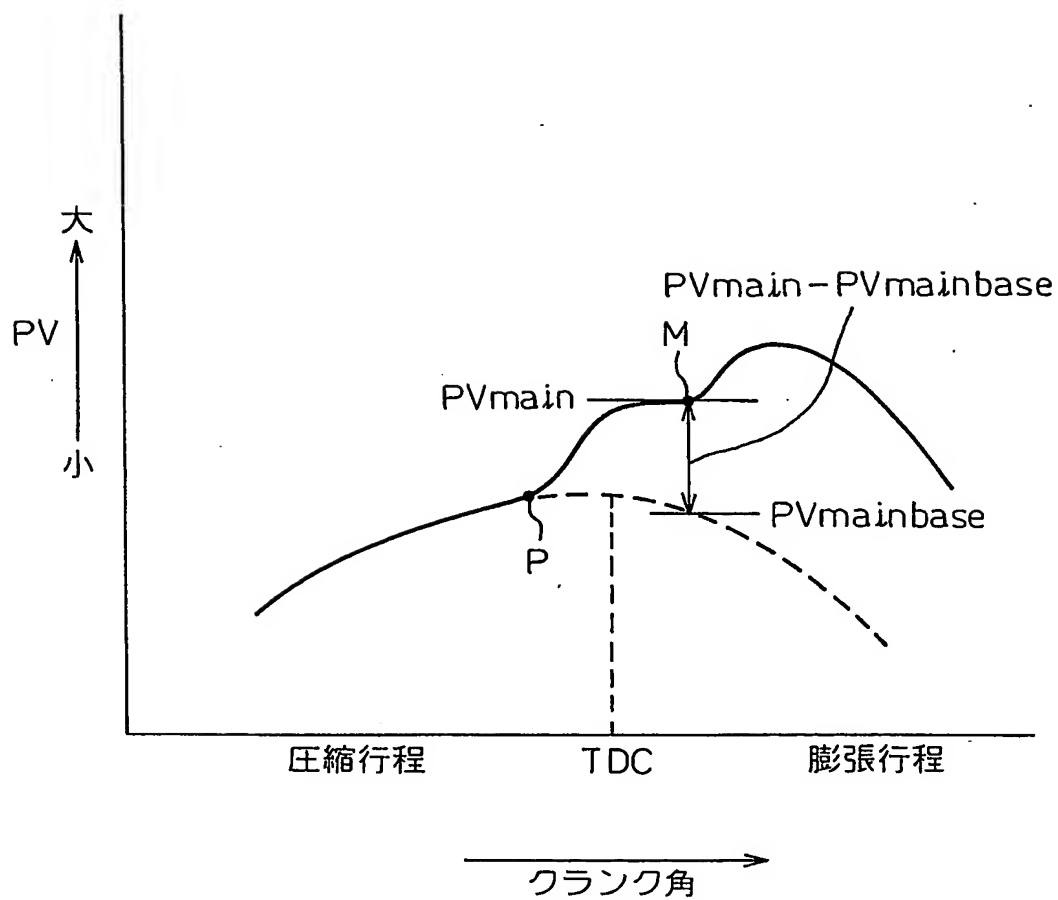


Fig.11

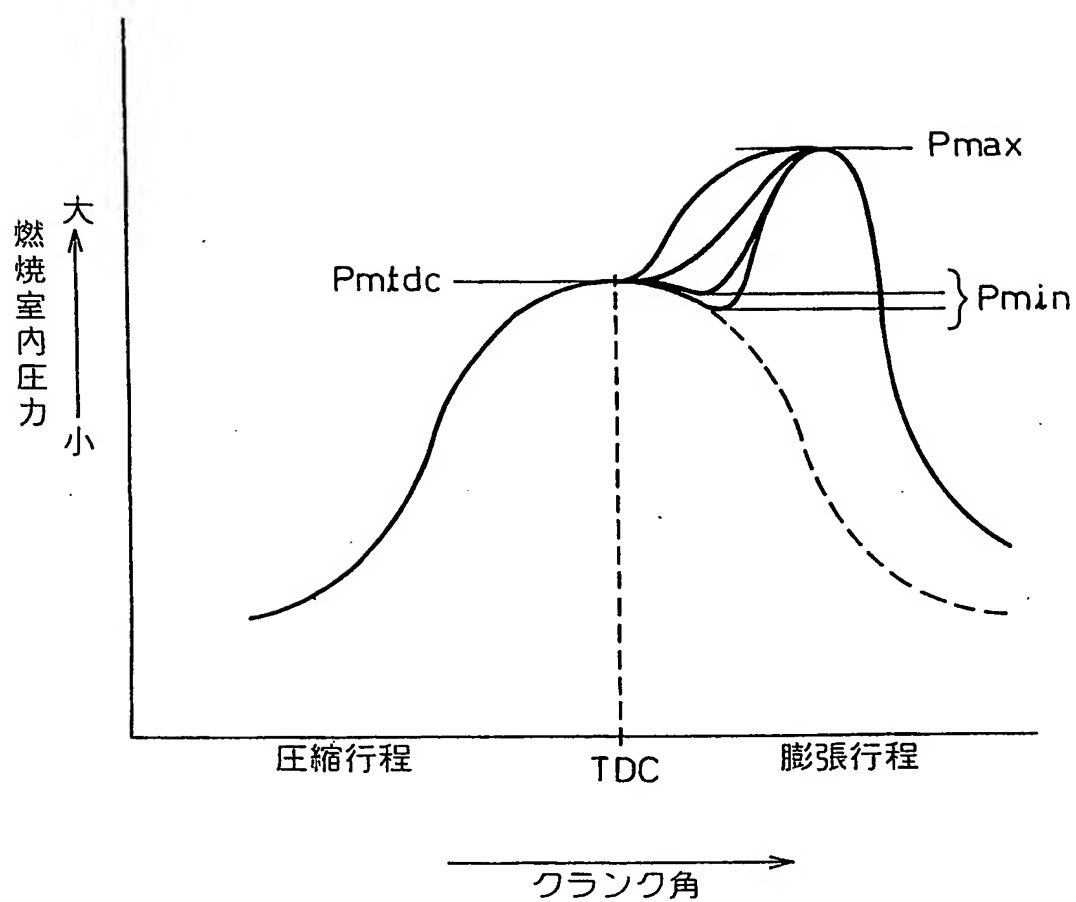


Fig.12

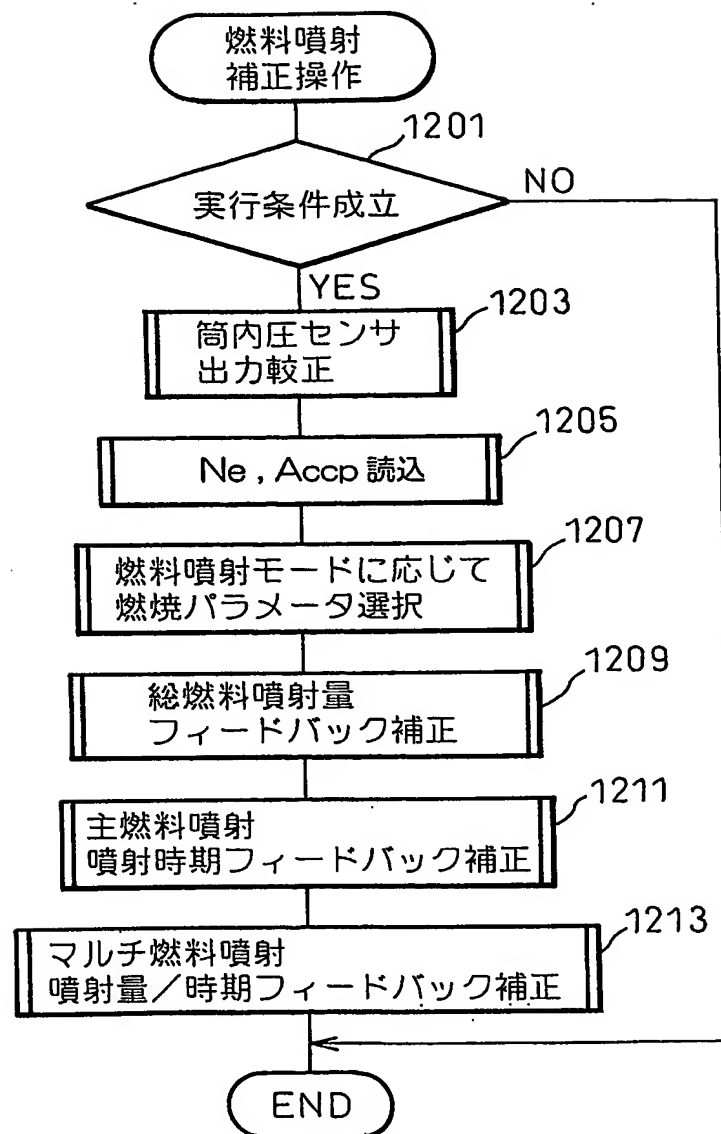


Fig.13

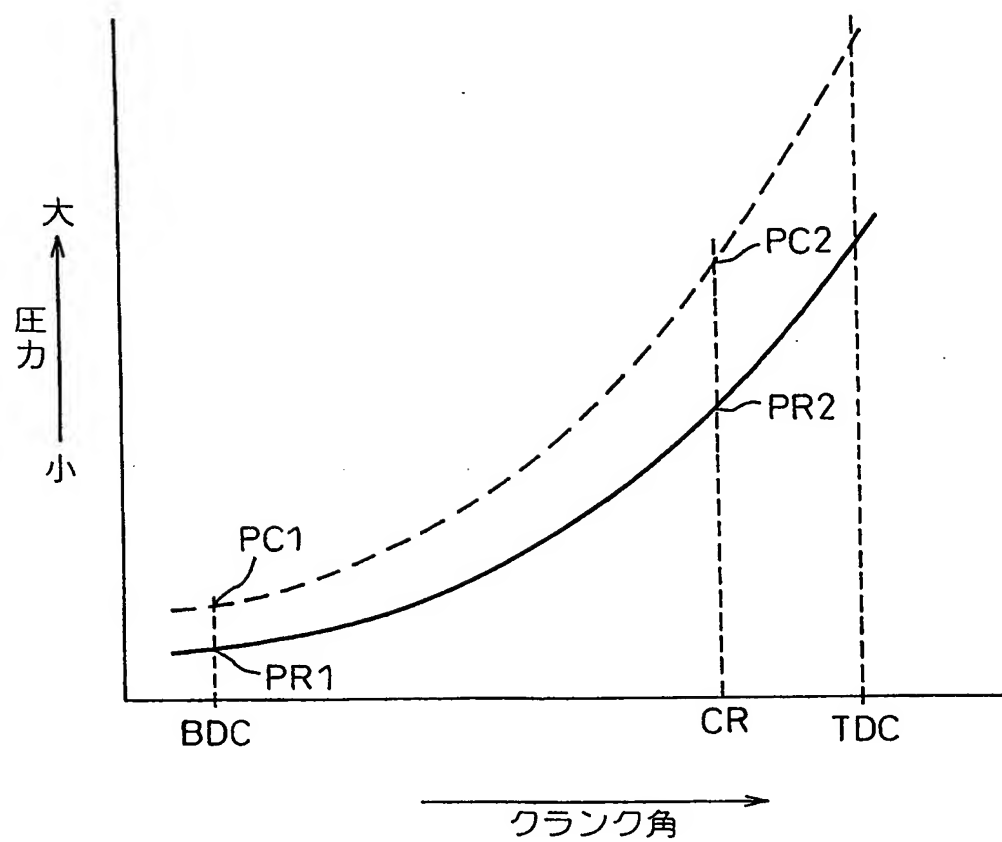


Fig.14

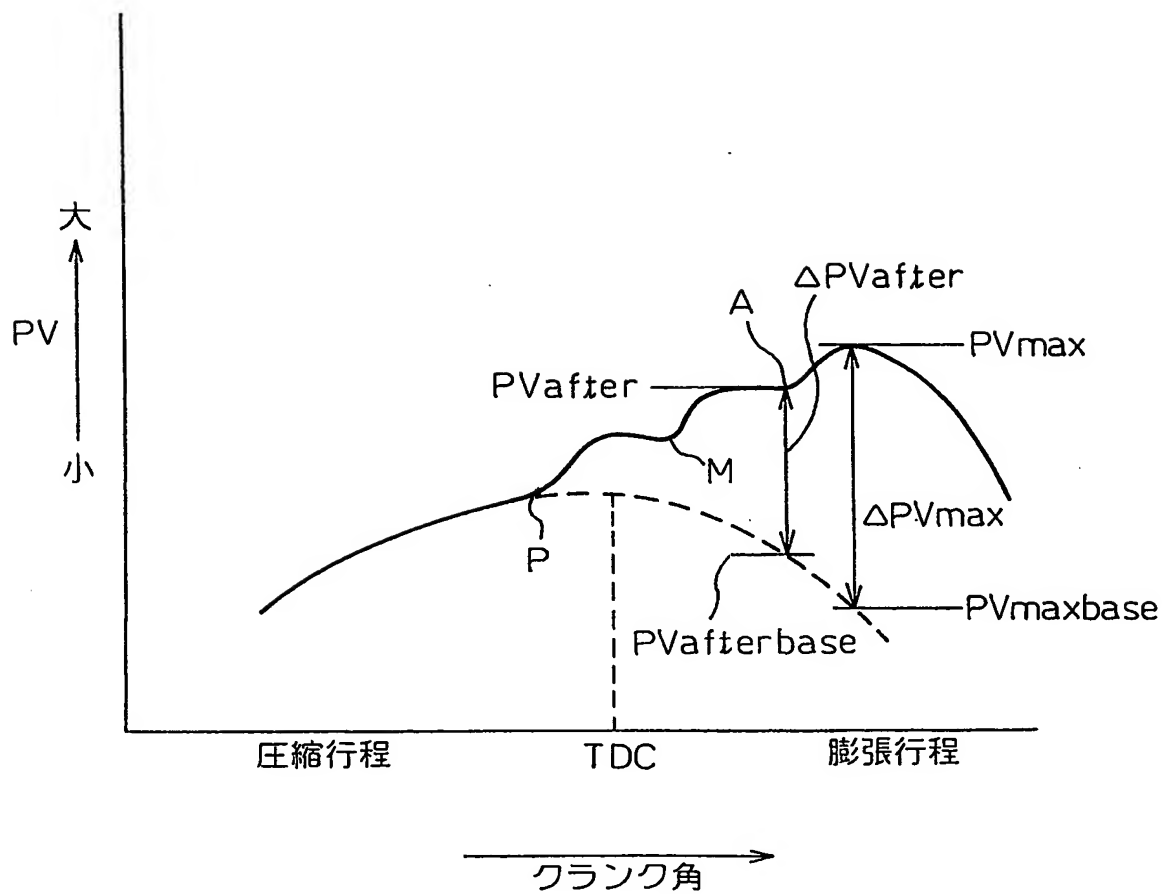


Fig.15

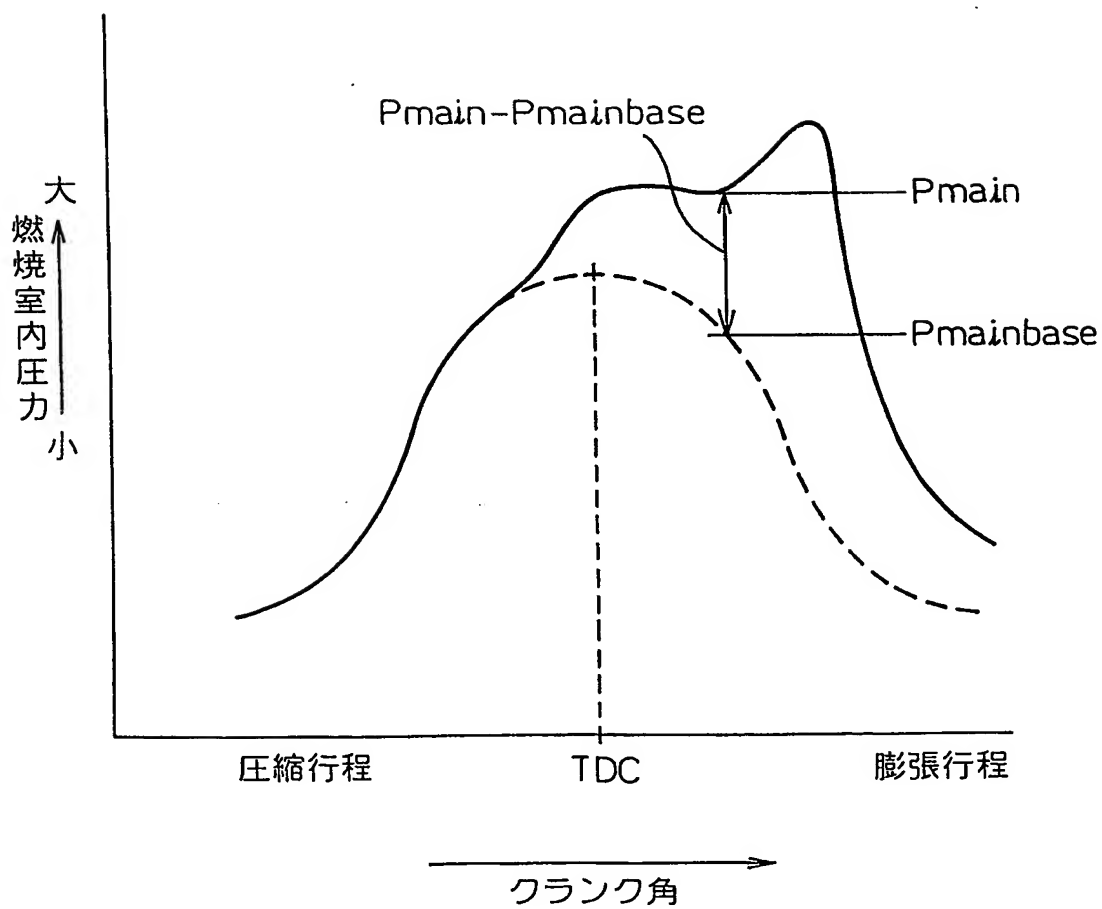


Fig.16

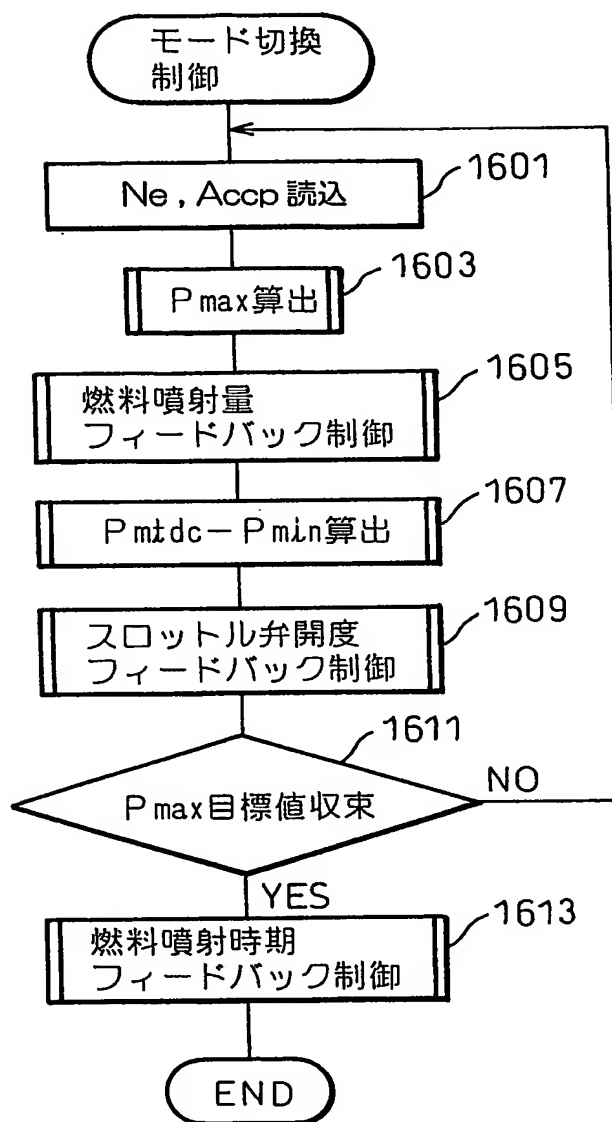


Fig.17

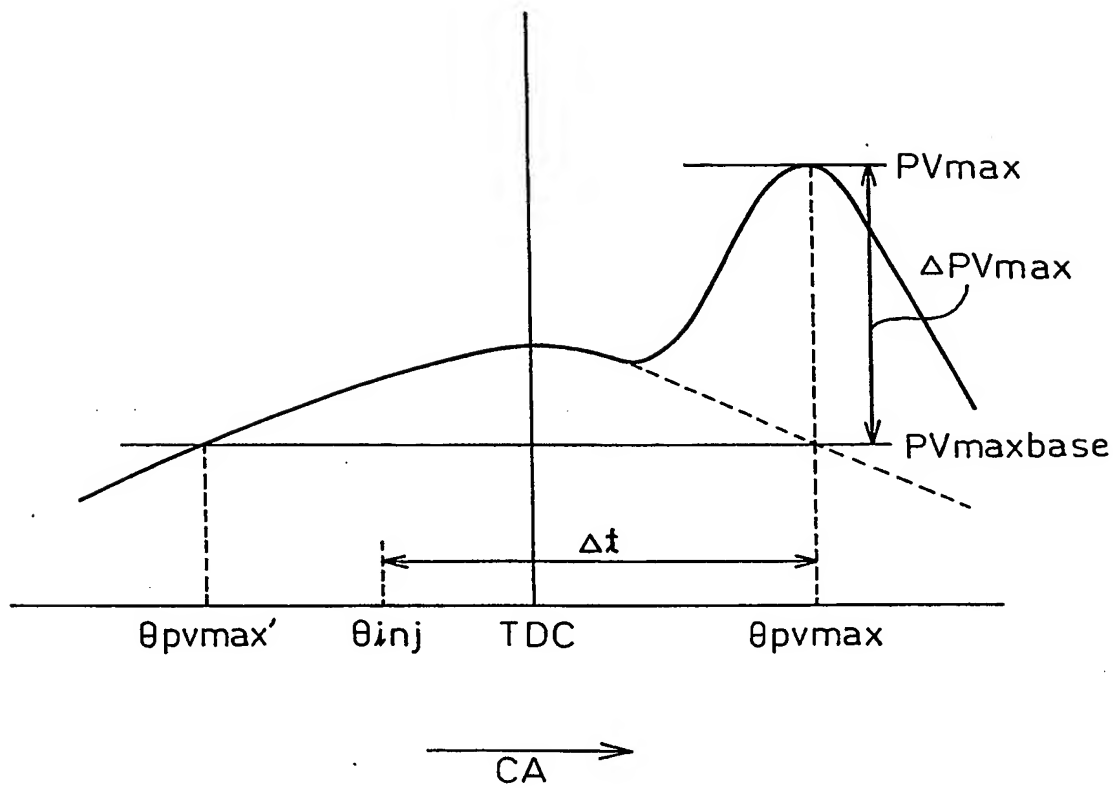


Fig.18

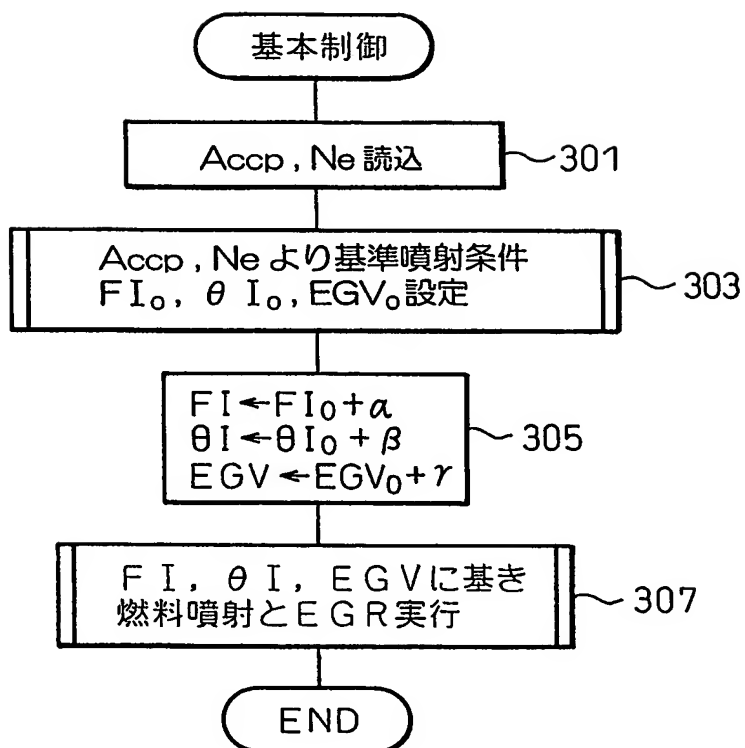


Fig.19

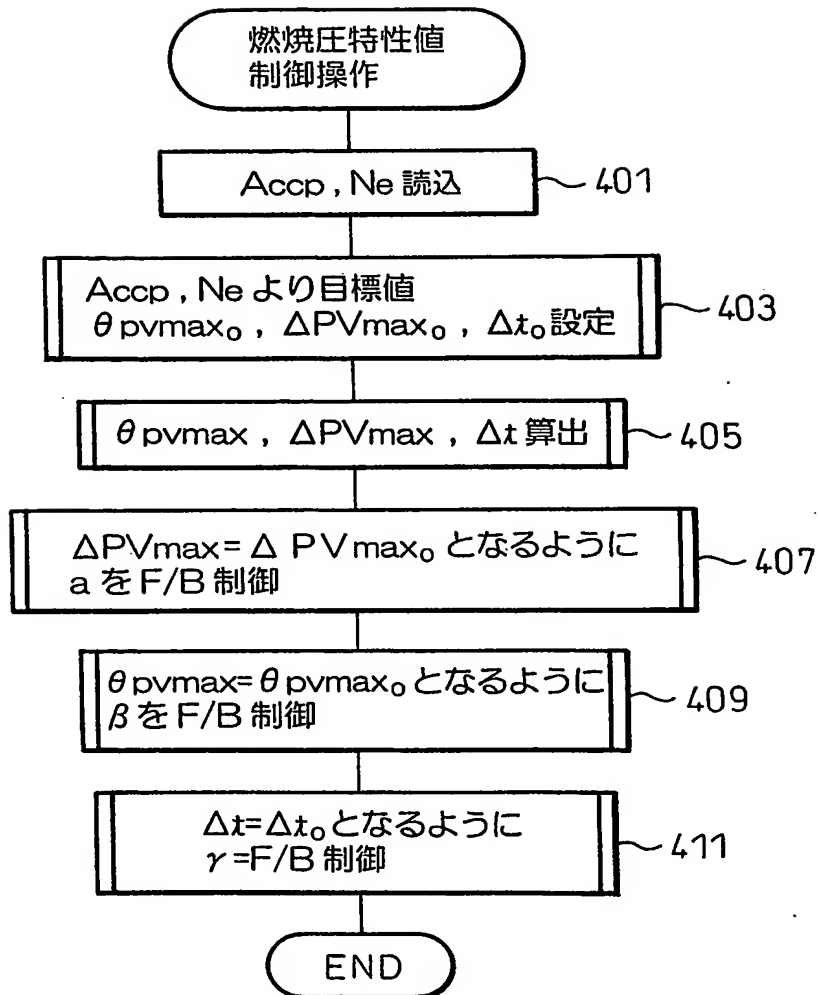


Fig. 20

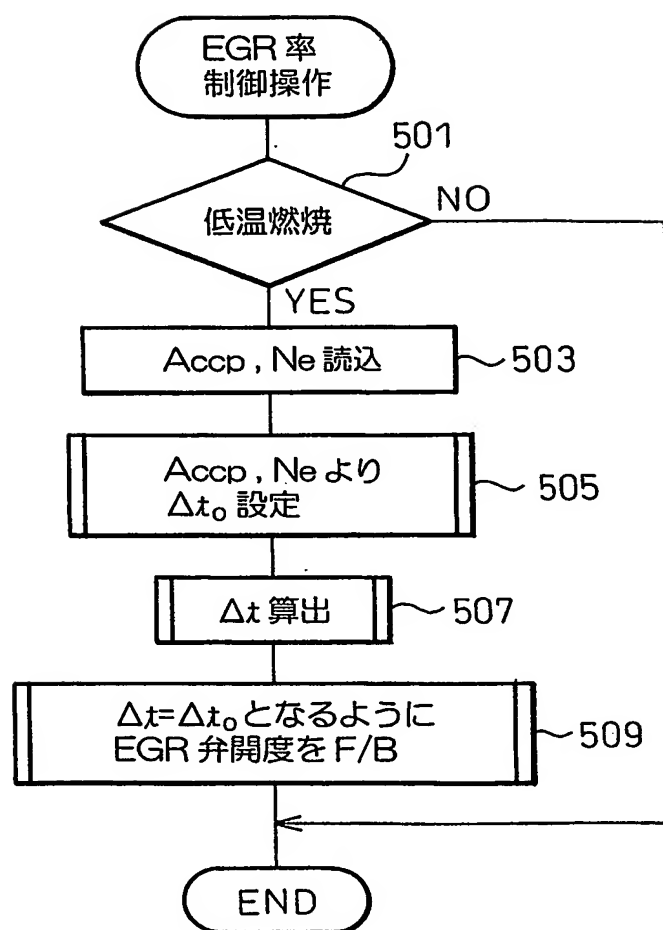


Fig.21

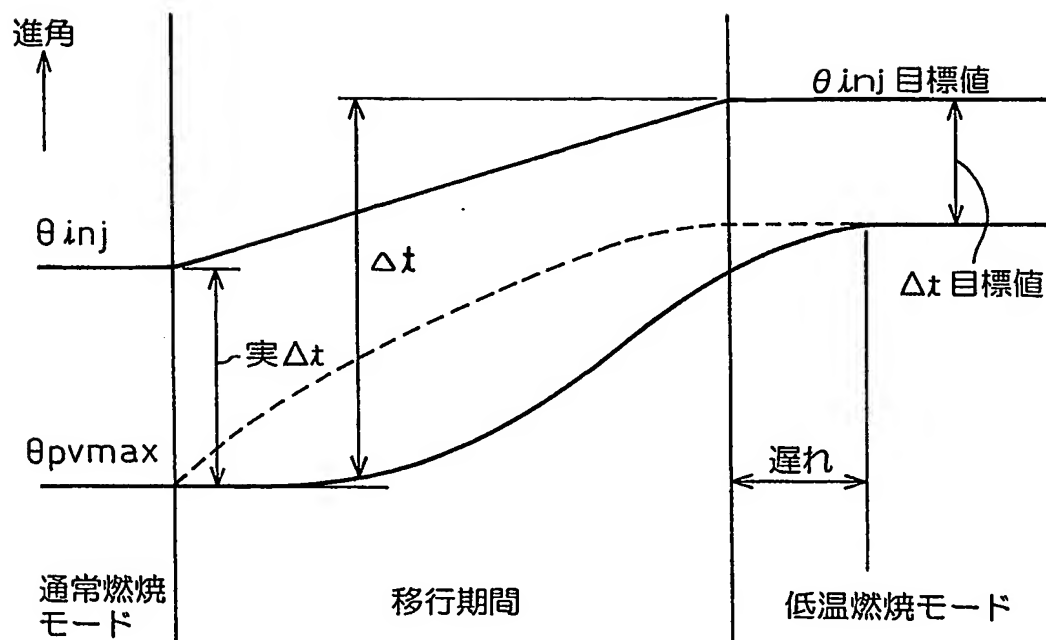


Fig.22

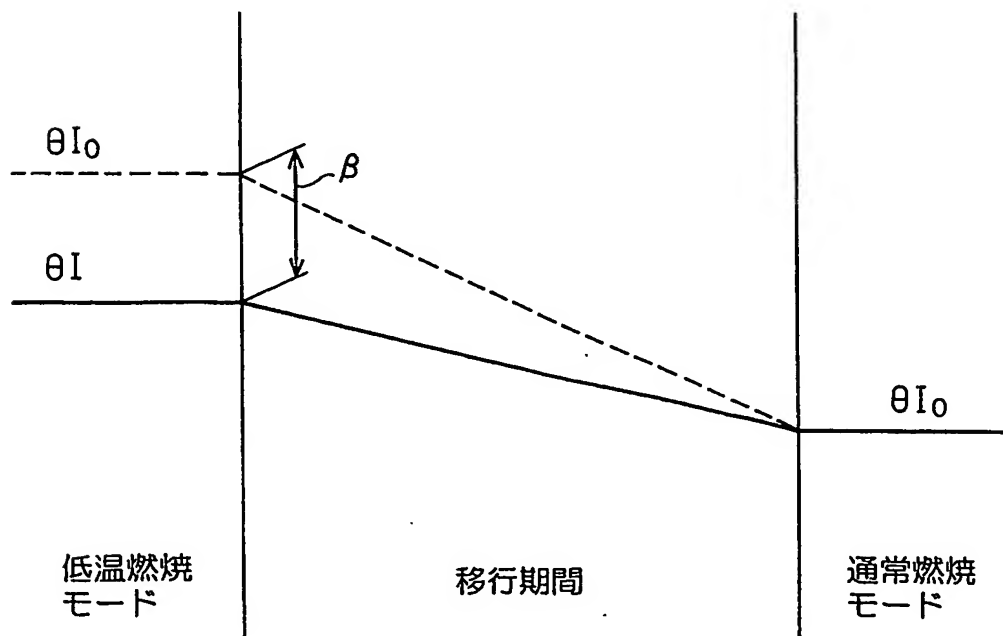


Fig. 23

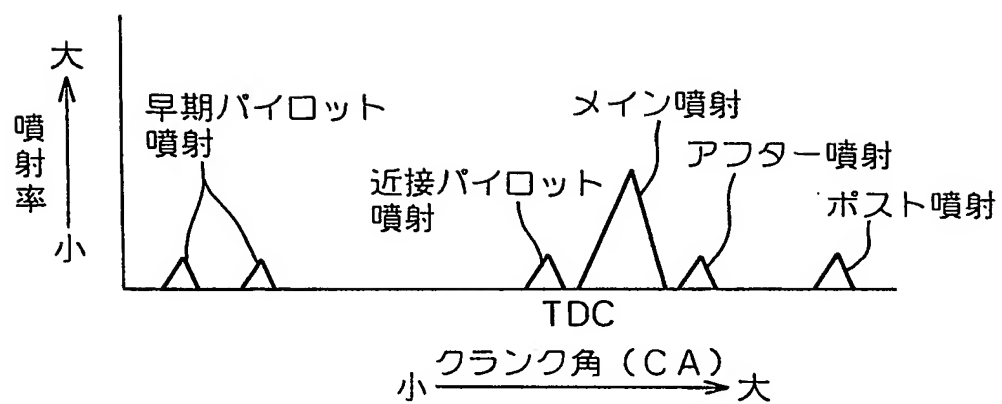


Fig.24(A)

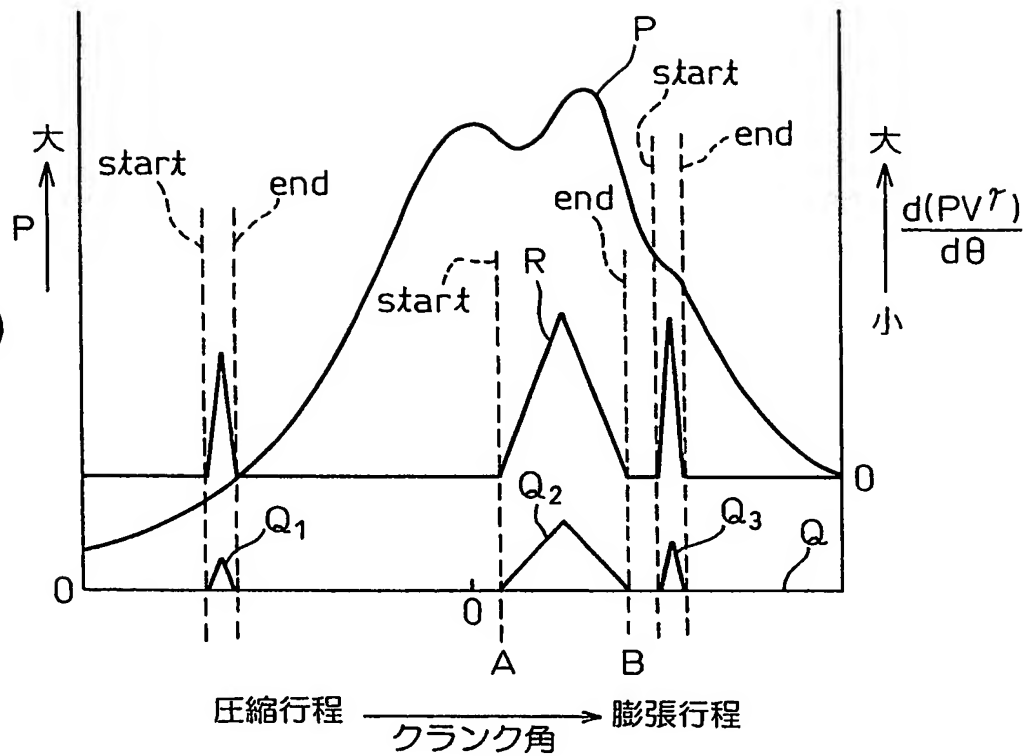


Fig.24(B)

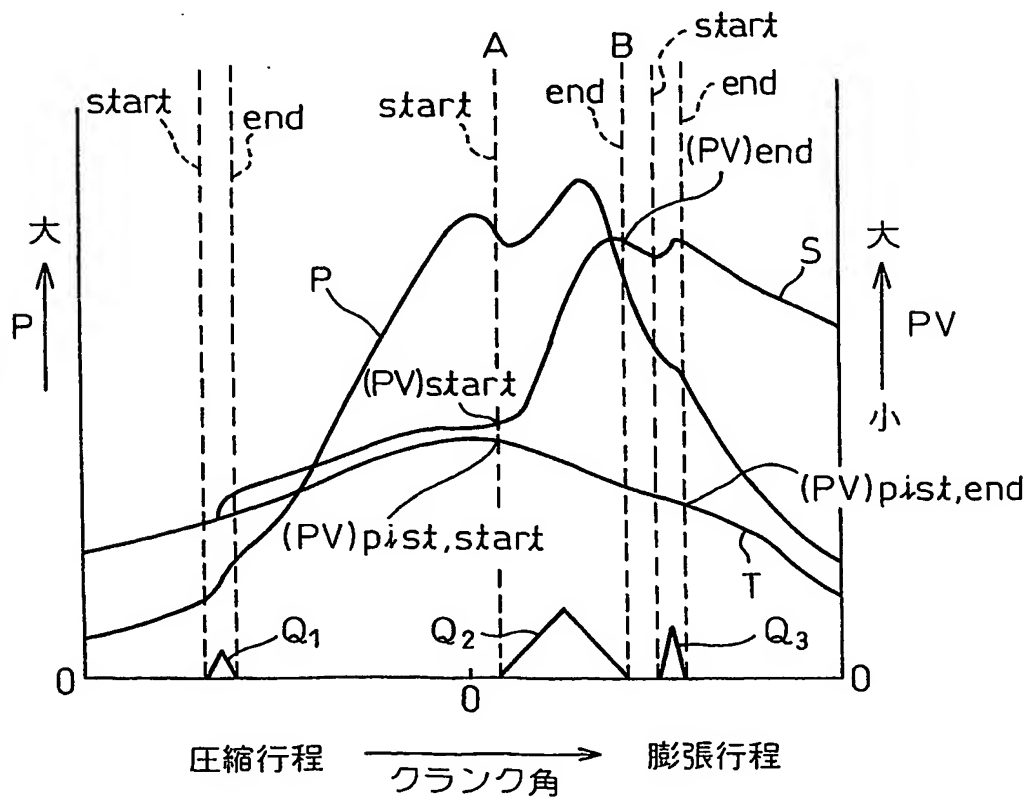


Fig.25

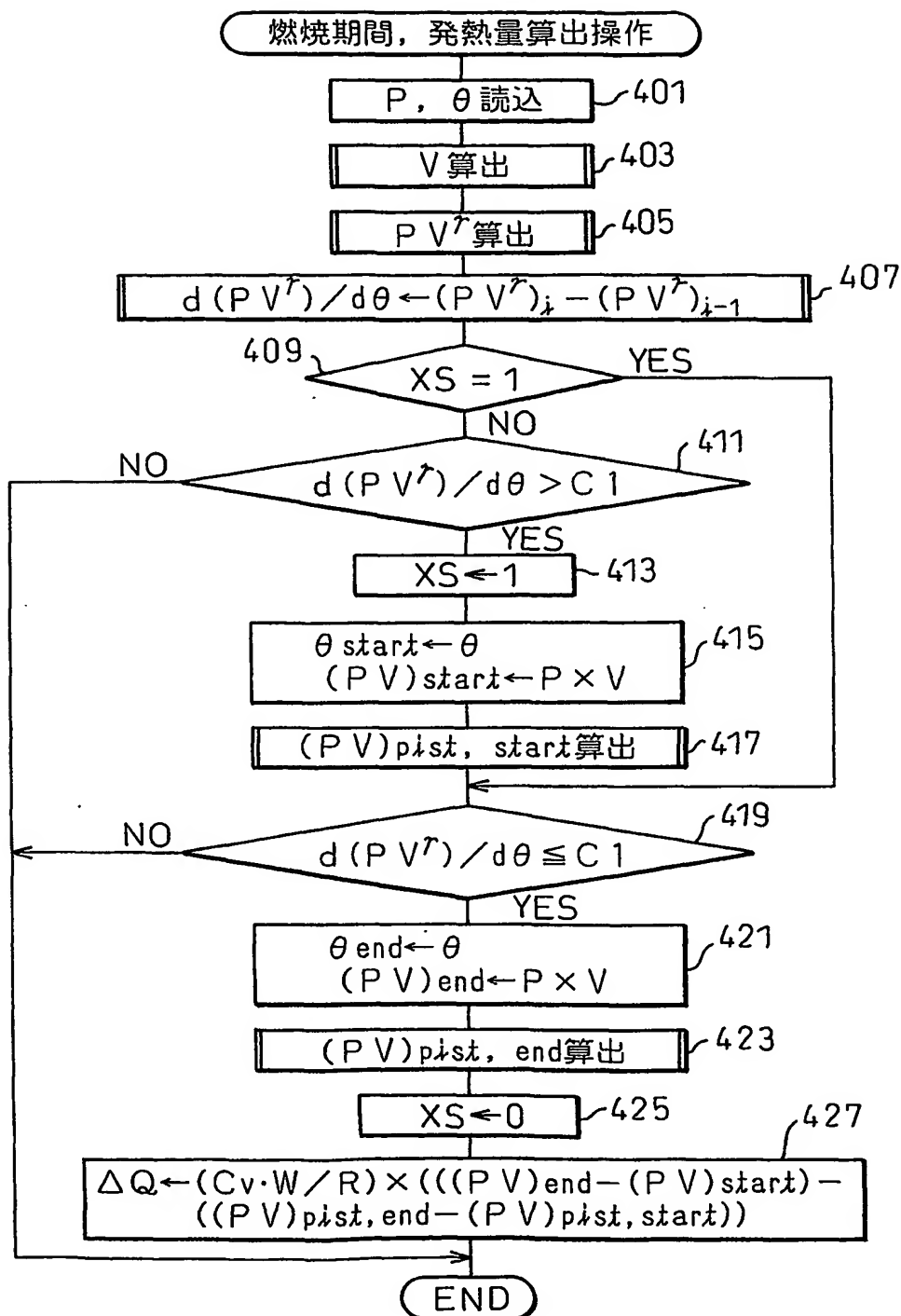
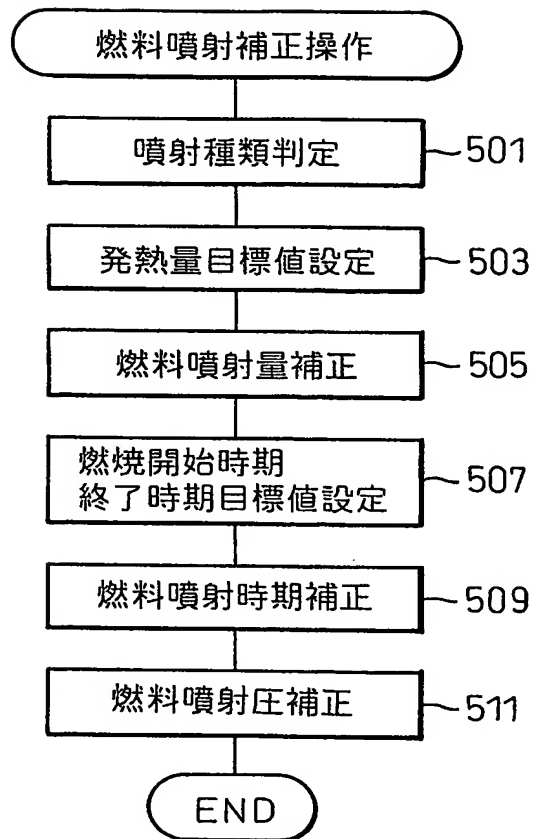


Fig.26



参照番号の一覧表

1 …ディーゼル機関

3 …コモンレール

1 0 a ～ 1 0 d …筒内燃料噴射弁

2 0 …電子制御ユニット（E C U）

2 1 …アクセル開度センサ

2 5 …クランク角センサ

2 9 a ～ 2 9 d …筒内圧センサ

3 5 …E G R 弁

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11452

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ F02D45/00, F02D41/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ F02D45/00, F02D41/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-173201 A (Isuzu Motors Ltd.), 29 June, 1999 (29.06.99),	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y	Full text; all drawings (Family: none)	13, 14, 20
X	JP 11-148410 A (Isuzu Motors Ltd.), 02 June, 1999 (02.06.99),	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y	Full text; all drawings (Family: none)	13, 14, 20
X	JP 11-141386 A (Isuzu Motors Ltd.), 25 May, 1999 (25.05.99),	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y	Full text; all drawings (Family: none)	13, 14, 20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
26 November, 2003 (26.11.03)

Date of mailing of the international search report
09 December, 2003 (09.12.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11452

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-246935 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 24 September, 1996 (24.09.96), Full text; all drawings (Family: none)	13, 14
Y	JP 2000-54889 A (Hitachi, Ltd.), 22 February, 2000 (22.02.00), Full text; all drawings & EP 1106805 A & WO 00/9876 A	20
A	JP 2000-234558 A (Denso Corp.), 29 August, 2000 (29.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-32
A	JP 61-277846 A (Nippon Soken, Inc.), 08 December, 1986 (08.12.86), Full text; all drawings (Family: none)	1-32

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ F02D45/00, F02D41/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ F02D45/00, F02D41/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996
日本国公開実用新案公報 1971-2003
日本国実用新案登録公報 1996-2003
日本国登録実用新案公報 1994-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-173201 A (いすゞ自動車株式会社) 1999.06.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y		13, 14, 20
X	JP 11-148410 A (いすゞ自動車株式会社) 1999.06.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y		13, 14, 20
X	JP 11-141386 A (いすゞ自動車株式会社) 1999.05.25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3, 5-7, 11, 12, 17
Y		13, 14, 20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
26.11.03

国際調査報告の発送日
09.12.03

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
岩 瀬 昌 治 印
3G 9246
電話番号 03-3581-1101 内線

C (続き) 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 8-246935 A (日産自動車株式会社) 1996.09.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	13, 14
Y	JP 2000-54889 A (株式会社日立製作所) 2000.02.22, 全文, 全図 & EP 1106805 A & WO 00/9876 A	20
A	JP 2000-234558 A (株式会社デンソー) 2000.08.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-32
A	JP 61-277846 A (株式会社日本自動車部品総合研究所) 1986.12.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-32